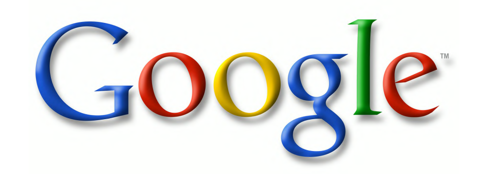


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

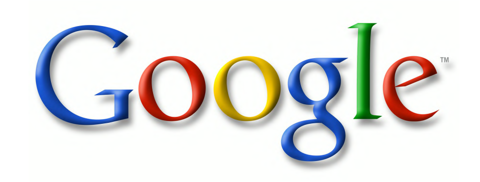
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

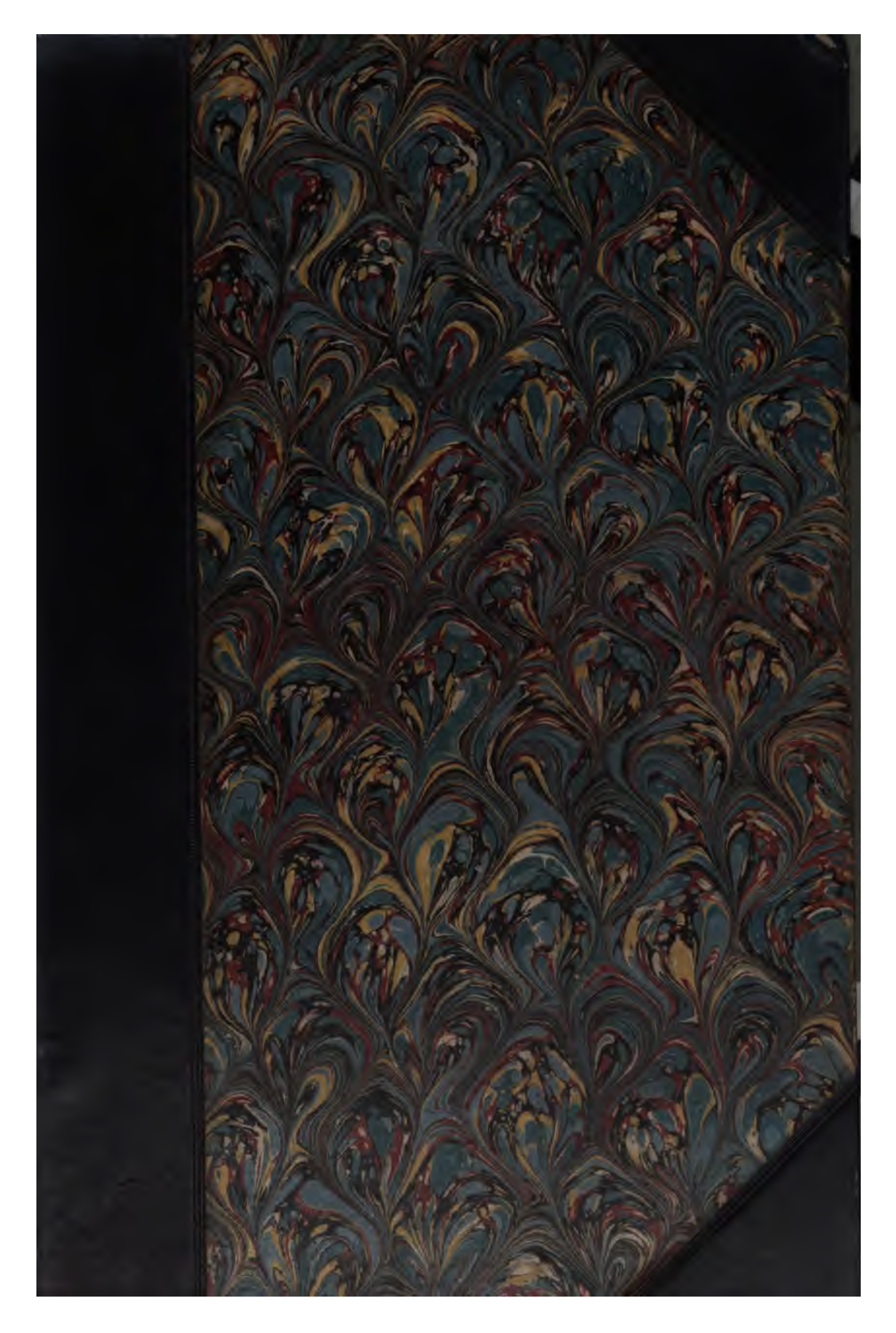
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`




The Branner Geological Library
LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY




The Branner Geological Library
LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY



551.31
C484

JC Branner

ESSAI

SUR

LES GLACIERS

ET SUR

LE TERRAIN ERRATIQUE DU BASSIN DU RHONE,

par

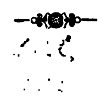
JEAN DE CHARPENTIER,

DIRECTEUR DES MINES DU CANTON DE VAUD,

ET PROFESSEUR HONORAIRE DE GÉOLOGIE A L'ACADÉMIE DE LAUSANNE;

Membre de la Société helvétique des sciences naturelles; des Sociétés des sciences de Lausanne, de Marbourg, de Dresde, de Hanau, de Breslau et de Leipsick; membre étranger de la Société géologique de Londres; correspondant de l'académie royale des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse, et des Sociétés philomatique, linéenne, et d'histoire naturelle de Paris, de Strasbourg, etc.

Avec des vignettes, des planches, et une carte du terrain erratique du bassin du Rhône.



LAUSANNE,

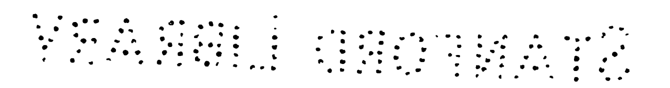
IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE DE MARC DUCLOUX, ÉDITEUR.

1841.

Zuletzt wollten zwey oder drey stille Gäste sogar einen Zeitraum grimmiger Kälte zu Hülfe rufen und aus den höchsten Gebirgszügen, auf weit in's Land hingesenkten Gletschern, gleichsam Rutschwege für schwere Ursteinmassen bereitet, und diese auf glatter Bahn, fern und ferner hinausgeschoben im Geiste sehen. Sie sollten sich, bei eintretender Epoche des Aufthauens, niedersenken und für ewig in fremden Boden liegen bleiben.

GOETHE. *Wilhelm Meisters Wanderjahre.*
Vol. II. Chap. 10. édition de 1829.

213306



AU

CONSEIL D'ÉTAT

du

CANTON DE VAUD.

Monsieur le Président,

Messieurs les membres du Conseil d'État,

L'accueil bienveillant et flatteur que vous avez daigné accorder à mon Essai sur la constitution géologique des Pyrénées, me fait espérer que vous voudrez bien me permettre, Messieurs, de vous dédier l'ouvrage que je viens d'achever, et que je livre maintenant au public.

Ce qui m'encourage encore à réclamer de vous cette permission, c'est l'intérêt même que le sujet de mon travail doit inspirer à tous mes concitoyens. En effet, j'ai cherché à savoir quel fut, dans les derniers temps qui précédèrent la création de l'espèce humaine, l'état de la contrée qui comprend aujour-

d'hui le Canton de Vaud. Tous les Vaudois apprendront avec autant d'intérêt que de surprise, que cette recherche nous conduit à reconnaître de la manière la plus évidente, que notre beau pays a été enseveli sous des masses épaisses de glace pendant une longue suite d'années. La connaissance de ce fait étonnant, mais qui n'en est pas moins certain, ne fera qu'augmenter en eux comme en moi l'admiration et la reconnaissance envers l'Etre suprême qui, par des moyens bien naturels, a changé un vaste lit de glacier, congelé et stérile, en un sol aussi riche que productif, dont les heureux habitants jouissent d'un bonheur que vos soins éclairés et constants tendent sans cesse à augmenter et à consolider.

Daignez, Messieurs, agréer l'expression de mon profond respect.

JEAN DE CHARPENTIER.

PRÉFACE.

Le mémoire que je lus en 1834 à la Société helvétique des Sciences Naturelles, réunie à Lucerne, sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la vallée du Rhône[1], fit désirer à Mr le Professeur Agassiz de connaître les faits que je m'étais borné à y indiquer. Dans ce but, il vint en 1836, passer quelques mois dans mon voisinage, pour être à la portée des lieux où l'on peut le mieux étudier les glaciers et le terrain erratique.

Ce savant, ayant été appelé en 1837 à la présidence de la même Société réunie à Neuchâtel, traita ce sujet dans son discours d'ouverture. Ce discours, et une lettre de Mr Jean André De Luc de Genève adressée à la Société pour combattre mon opinion sur le trans-

[1] Ce mémoire est inséré dans le VIIIe Volume des Annales des mines. Il se trouve traduit en allemand par Mr le Professeur Frœbel dans les *Mittheilungen aus dem Gebiete der theoretischen Erdkunde* par Frœbel et Heer, pag. 482 et suiv.

port des débris erratiques, et qui fut lue à la Section géologique, y donnèrent lieu à une discussion vive et prolongée. On éleva plusieurs objections contre la théorie de Mr Venetz et contre l'application que j'en avais faite; mais, comme il arrive fréquemment en pareille matière, et comme du reste il était facile de le prévoir, cette discussion n'amena aucun résultat, par ce qu'on n'était pas d'accord sur les principes. Je m'aperçus aisément par les diverses opinions émises en cette occasion, que plusieurs faits essentiels pour bien saisir les idées de Mr Venetz et les miennes, et, conséquemment, pour pouvoir les juger, n'étaient pas aussi généralement connus que je l'avais supposé lors de la rédaction de mon mémoire[1]. Je reconnus que l'on rencontre encore parmi les naturalistes mêmes des idées erronées sur le mode de conservation et sur la cause du mouvement des glaciers, aussi bien que sur les rapports qui existent entre les débris erratiques et les débris transportés par les glaciers, et sur l'influence que les glaciers ont exercée et exercent encore sur la formation des dépôts diluviens et alluviens. Je pensai donc que ce serait faire un travail aussi utile qu'in-

[1] Ce mémoire, étant destiné à être lu à une société, ne devait pas dépasser les limites au-delà desquelles on peut craindre de lasser l'attention de l'auditoire. Par conséquent je ne pouvais pas y développer convenablement mes idées ni les appuyer suffisamment par des faits; j'étais donc réduit à ne donner qu'une simple ébauche de mon sujet, et à faire seulement entrevoir la possibilité de parvenir par le moyen des glaciers à une explication satisfaisante du terrain erratique et des phénomènes qui s'y rattachent.

téressant, que d'exposer d'une manière vraie et claire les phénomènes des glaciers et du terrain erratique, et d'indiquer en même temps les causes qui les ont produits. Comme j'ai profité depuis plus de 25 ans de toutes les occasions de m'instruire de tout ce qui se rapporte aux neiges permanentes, et que je me suis livré depuis 11 ans à une étude suivie du terrain erratique, je me suis enhardi, en automne 1839, à mettre la main à ce travail. Je le livre maintenant au public qui jugera jusqu'à quel point je me suis approché de mon but. Celui-ci a été de mettre au jour un grand phénomène géologique qui semblait, jusqu'à présent, être couvert d'un voile impénétrable qu'on ne savait par quel coin soulever, phénomène qui, par conséquent, a donné lieu à des hypothèses aussi nombreuses que diverses.

Comme c'est par la connaissance des glaciers seule que l'on peut parvenir à comprendre le terrain erratique, j'ai divisé mon travail en deux parties : la première traite des glaciers, et la seconde du terrain erratique. Les faits que je cite se rapportent presque exclusivement au bassin du Rhône, (à partir du Saint Gothard jusqu'à Genève,) et à la vallée de Chamounix. Les raisons pour lesquelles j'ai donné la préférence à cette contrée, sont que, habitant la vallée du Rhône, elle était le plus à ma portée, et qu'elle présente les phénomènes, soit des glaciers, soit du terrain erratique, sur une échelle beaucoup plus grande qu'aucune autre

partie de la Suisse; de plus, le terrain erratique y a mieux conservé ses formes, de manière que les traits en sont pour ainsi dire plus reconnaissables dans cette localité que dans les autres.

On trouvera peut-être que le cadre dans lequel je me suis renfermé, est trop restreint; mais, en y réfléchissant, on reconnaîtra bientôt qu'il est suffisamment vaste pour le but que j'ai eu en vue, et que les faits que j'ai exposés, ne sont rien moins que des faits locaux ou en quelque sorte exceptionnels. On se convaincra aisément que les résultats des observations faites dans la contrée qui a été le sujet spécial de mon étude, trouveront leur application non seulement dans les autres parties de la Suisse, mais aussi dans tous les pays où il existe des glaciers et des débris erratiques. Bien plus, il ne me paraît guère vraisemblable que l'on rencontre ailleurs des faits relatifs à ces phénomènes, qui n'aient sinon leurs pareils, du moins leurs analogues dans le bassin du Rhône. D'ailleurs je n'ai nullement craint de sortir quelquefois de mon cadre en citant des observations faites dans des localités entièrement étrangères à la contrée dont je me suis occupé particulièrement.

Mais, avant d'entrer en matière, je dois un témoignage public de reconnaissance aux personnes qui ont bien voulu s'intéresser à mon travail.

Je remercierai en premier mon ami Mr Venetz; c'est en quelque sorte à lui, comme on le verra (§. 79),

que je dois de m'être livré d'une manière particulière à l'étude du terrain erratique, dans laquelle il m'a été d'un grand secours. De plus, Mr Venetz est le premier qui ait prouvé par des faits incontestables que les glaciers du Valais et des pays adjacents ont eu jadis un développement infiniment plus considérable qu'ils n'ont aujourd'hui. Il a fait connaître ces faits importants dans un écrit intitulé *Mémoire sur la température dans les Alpes*, rédigé en 1821 et inséré dans les *Mémoires de la Société helvétique des sciences naturelles* Vol. I. part. 2. Quelques années plus tard, cet habile observateur fut amené par ses recherches à l'opinion que tout le phénomène du terrain erratique trouvait son explication dans l'existence ancienne d'immenses glaciers. Quelques montagnards, il est vrai, avaient eu déjà, avant Mr Venetz, la pensée que le transport des blocs erratiques de leurs vallées avait été opéré par des glaciers (§. 79). Mais cette idée n'était pas chez eux le résultat d'une étude suivie; ils l'avaient conçue uniquement parce qu'ils avaient été frappés du volume des blocs et de leur situation élevée au-dessus du torrent de la vallée. D'ailleurs ils ne songeaient même pas à l'appliquer à tout le phénomène, duquel probablement ils n'avaient pas même connaissance.

Le savant Plafair en 1815, et le grand Gœthe en 1829, attribuèrent aussi à des glaciers le transport des débris erratiques. Mais ni l'un ni l'autre n'ont développé leur opinion, ni cherché à l'appuyer par des faits.

Au reste, Mr Venetz n'a eu connaissance de l'idée de ces deux grands hommes que long-temps après que ses propres observations lui avaient fait concevoir la même opinion.

Je dois beaucoup de remercîments à mes amis MM. Baup, Biselx, Escher de la Linth, Lardy, Shuttleworth, Studer, Thomas et du Thon, qui se sont tous empressés d'être utiles à mon travail, soit en me communiquant des renseignements précieux, soit même en m'adressant des objections. En effet, ces objections m'ont rendu de grands services, puisqu'elles m'ont engagé à approfondir davantage mon sujet, et à m'appliquer particulièrement à énoncer mes idées d'une manière claire.

Je remercie également Mr de Laharpe, professeur de langue française au collége de Lausanne, qui, voulant me donner une marque de l'amitié qu'il me porte et en même temps, de l'intérêt qu'il a pris à mon travail, a eu la complaisance de revoir mon manuscrit pour en faire disparaître, autant que possible, les locutions vicieuses et les autres fautes que commettent la plupart de ceux qui écrivent dans une langue qui n'est pas leur langue maternelle.

Enfin, Mr Alex. Dür, de Bex, Commissaire-arpenteur, s'est aussi empressé de contribuer à rendre mon livre intelligible, en se chargeant de la manière la plus obligeante du dessin de la carte. Je le prie de recevoir le témoignage de ma reconnaissance.

Trois ouvrages sur les glaciers et le terrain erratique viennent d'être publiés. Je les indique dans l'ordre dans lequel je les ai reçus de la part même des auteurs qui ont bien voulu m'en gratifier :

Notice sur les glaciers, les moraines et les blocs erratiques des Alpes, par Mr Godeffroy. Paris et Genève 1840.

Théorie des glaciers de la Savoie, par M^r^ le Chanoine Rendu. Chambéry 1840, et

Etudes sur les glaciers, par Mr Agassiz, avec un atlas de 32 planches. Neuchâtel 1840.

J'ai reçu ces ouvrages trop tard pour pouvoir les citer dans le corps de mon travail et faire connaître les réflexions que m'a suggérées leur lecture. En effet à l'exception de celui de Mr Godeffroy, ils ne me sont parvenus qu'après la rédaction définitive de mon manuscrit[1].

Tous ces écrits renferment beaucoup de faits intéressants, mais j'y trouve aussi émises des opinions aux quelles je ne saurais adhérer.

L'ouvrage de Mr Agassiz se distingue remarquablement par le nombre des faits qui y sont rapportés et expliqués ; ce savant ne s'est pas borné uniquement à l'étude des glaciers, comme le titre de l'ouvrage devrait le faire présumer, mais il a étendu ses recherches aussi sur le terrain erratique et sur les divers

[1] L'ouvrage de Mr Rendu m'est parvenu le 24, et celui de Mr Agassiz le 28 de ce mois (Octobre 1840.)

phénomènes qui s'y rattachent. J'ai lu avec beaucoup d'intérêt le récit des expériences que M. Agassiz a faites sur le glacier inférieur de l'Aar pour connaître la température de l'intérieur des glaciers. Le résultat de ces expériences confirme mon opinion que l'intérieur des glaciers est toute l'année sensiblement au-dessous de zéro. Il serait bien à désirer que l'on répétât ces essais sur d'autres glaciers encore et à de plus grandes profondeurs. Quant au mode de transport des débris erratiques, M. Agassiz professe toujours l'opinion qu'il avait développée dans son discours d'ouverture des séances de la société helvétique des sciences naturelles en 1837, et que j'ai analysée § 78. L'atlas, de 32 planches, contient les vues des glaciers les plus instructifs des cantons du Valais et de Berne. La planche 18 représente très-bien divers échantillons de roches frottées et lissées par les glaciers. Je crois que c'est la première fois que l'on a fait connaître par des figures cet accident remarquable.

M. Agassiz nous a fait l'honneur, à M. Venetz et à moi, de mettre nos noms en tête de cet intéressant ouvrage. Nous avons été très-sensibles à ce témoignage d'estime, et prions M. Agassiz d'agréer l'expression de notre reconnaissance.

L'ouvrage de M. Godeffroy établit une nouvelle théorie des glaciers, à laquelle cependant je ne pourrais pas adhérer, parce qu'il me semble qu'elle se fonde sur des faits qui ne me paraissent pas suffisam-

ment constatés. Ainsi, par exemple, je doute beaucoup qu'il s'opère, comme M. Godeffroy le prétend, une fusion dans l'intérieur de la masse des glaciers « par » le calorique qu'y dégage la pression à l'instant qu'elle » en écrase les cristaux. » (pag. 8). Il en est de même de ce clivage double, l'un vertical et l'autre horizontal que ce savant attribue à la glace des glaciers (p. 12). Je ne saurais être non plus de son avis, lorsqu'il prétend que les glaciers n'ont point amené les débris qui constituent leurs moraines latérales (pag. 19). Quant aux débris erratiques, M. Godeffroy ne hasarde aucune conjecture sur leur mode de dispersion. Il n'admet pas l'hypothèse des glaciers (pag. 105), car il envisage le terrain erratique comme plus ancien que les glaciers (pag. 19), et il le range « dans la classe » des véritables terrains tertiaires » (pag. 25), sous le nom de terrain « détritique ancien ou clysmien à blocs » (pag. 20).

M. le chanoine Rendu a très-bien étudié les glaciers de la Savoie. La théorie qu'il a déduite de ses observations et qu'il expose dans son ouvrage, se rapproche en nombre de points de notre manière de voir et d'expliquer les phénomènes des glaciers. Sans rejeter positivement l'hypothèse qui attribue à des glaces la dispersion des débris erratiques, il réfute néanmoins, et avec beaucoup de raison, l'explication que j'avais donnée en 1834 de la cause des glaciers diluviens. En effet, quoique je n'admette pas l'argument que cet

habile observateur tire de la disproportion entre les hauts-névés et les glaciers proprement dits, j'adopte en plein l'autre argument qu'il base sur l'insuffisance de la cause que j'avais supposée avoir produit les glaciers diluviens et qui est trop restreinte pour avoir pu donner lieu à un phénomène aussi général que celui dont il est question. C'est principalement la dernière considération, qui, depuis la publication de mon mémoire en 1834, m'a fait abandonner cette explication.

Il est probable qu'on élèvera des objections, soit contre les explications que j'ai données de divers faits rapportés dans mon travail, soit contre l'hypothèse même que j'ai tâché d'y défendre. J'ai déjà répondu à celles qui m'ont été faites, et même à celles que j'ai pensé qu'on pourrait élever. Mais il y en aura probablement d'autres que je n'ai pas prévues. En conséquence, je me propose, si Dieu m'accorde la santé, de reprendre la plume dans trois ans pour répondre aux objections qu'on m'aura faites jusqu'alors. Je profiterai de cette occasion pour donner le résumé des faits nouveaux et intéressants qui seront venus à ma connaissance.

Devens près de Bex, le 31 octobre 1840.

Jean de Charpentier.

Première Partie.

DES GLACIERS.

§. 1.

DIVISION DES NEIGES PERPÉTUELLES.

Les neiges perpétuelles des Alpes se présentent sous deux formes très-bien connues des montagnards et surtout des chasseurs de chamois, mais beaucoup moins des naturalistes. L'une de ces formes est appelée par les montagnards de la Suisse française *névés*, et l'autre est généralement connue sous le nom de *glaciers*.

§. 2.

NÉVÉS.

Les *névés* sont des neiges perpétuelles qui n'offrent guère d'autre cohérence que celle qui ré-

sulte de leur propre tassement, de manière qu'en marchant dessus, on y enfonce légèrement. Ce sont des neiges dont les grains ne sont pas cimentés par de l'eau congelée dans leurs interstices. Ils se distinguent donc essentiellement des glaciers en ce que leur surface n'offre pas une glace solide, et que les pierres et les terres qui s'y trouvent ensevelies, ne reviennent pas à l'extérieur (§. 25). C'est aussi la cause pour laquelle les névés ne déposent jamais de moraines (§. 17). La neige qui les compose se présente constamment en petits grains incohérents, irrégulièrement arrondis et d'une grande transparence. Cette forme grenue est produite par l'extrême sécheresse de l'air des hautes régions où l'on rencontre les névés, sécheresse qui empêche la vapeur de se transformer en flocons[1], par la congélation.

§. 3.

DIVISION DES NÉVÉS.

Les neiges qu'on rencontre dans les Alpes à une élévation d'environ 8000 pieds au-dessus de

[1] Il neige rarement en flocons sur les hautes montagnes, et seulement en automne par un vent du Sud-Ouest; la vapeur en se congelant s'y précipite ordinairement en *grésil;* mais celui-ci tombe quelquefois avec une abondance extrême. Le 12 Janvier 1812, au Pla de Guillème dans les Pyrénées

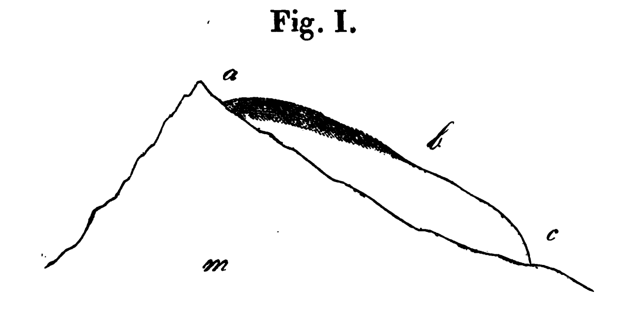
la mer, hauteur où les dégels et les pluies sont rares, sont désignés par les montagnards de la Suisse allemande par le nom de *Firn*, nom qu'on pourrait traduire par celui de *Haut-névé*, pour les distinguer des névés inférieurs, qu'on pourra appeler *Bas-névés*.

Par conséquent, les Firns ou Haut-névés se trouvent à une hauteur où les neiges tombées dans le courant d'une année, ne disparaissent pas entièrement l'année suivante. En revanche, les neiges qui tombent sur les glaciers, se fondent complètement presque tous les étés. La fonte incomplète des neiges annuelles des hauts-névés est la cause de la stratification qu'ils présentent, mais qui s'efface et finit par disparaître entièrement à mesure qu'ils se changent en glaciers. La plupart des hauts-névés, sinon tous, ne sont de vrais névés qu'à leur surface, car dans leur intérieur ils deviennent *glaciers*. L'épaisseur de la couche de neige grenue qui forme la surface des hauts-névés, n'est pas très-considérable. Elle dépend de l'élévation, de la température moyenne de l'année, et de la saison où l'on examine. Ainsi, par exemple, à la fin d'Août 1825, la neige qui cou-

orientales, à environ 6700 pieds d'élévation, et le 18 Décembre 1819, au Col d'Anzeindaz, près de Bex, à 5900 pieds, j'ai été témoin de ces chûtes épaisses de grésil.

vrait la glace sur le Col du Mont-Cervin, à 10,416 pieds d'élévation au-dessus de la mer, n'avait guère au-delà de 4 pieds d'épaisseur. On peut aisément s'en assurer en examinant les parois des crevasses et les escarpements de certains névés qui, aboutissant à des précipices, sont sujets à s'ébouler dans toute leur épaisseur. Les Hauts-névés qui couvrent le Col du Mont-Cervin, le Mont Combin, les Mulets de Lalliaz, la partie occidentale des Diablerets etc., présentent assez de crevasses et d'escarpements pour qu'il soit facile d'en reconnaître la structure intérieure. Enfin tous nos grands glaciers sont des Hauts-névés à leur extrémité supérieure [1].

Fig. I.



[1] Les neiges permanentes des Cordillières équatoriales sont toutes des névés. L'un de nos plus célèbres voyageurs m'a appris que leur cohérence est si faible qu'on peut la comparer à celle d'un amas de cendres, de manière qu'il est impossible de marcher dessus sans courir le risque de s'y en-

La Fig. I fera mieux comprendre les rapports de position qui existent entre un haut-névé et le glacier qui en dépend. Elle présente la coupe d'une montagne *m*, dont l'un des flancs est recouvert par une grande masse de neige permanente *a*, *b*, *c*. La portion pointée indique le haut-névé, et celle qui ne l'est pas, la glace qui se trouve dessous, et qui se termine par le glacier proprement dit *b*, *c*.

Les *Bas-Névés* sont des neiges permanentes qui se trouvent à une hauteur où il dégèle et où il pleut fréquemment, mais qui n'ont pas une épaisseur suffisante pour retenir les eaux qui les pénètrent. Il résulte de ce fait que les eaux qui s'écoulent d'un bas-névé, sont proportionnellement plus abondantes que celles qui s'échappent d'un glacier.

Les bas-névés n'ont jamais l'étendue ni surtout l'épaisseur des hauts-névés, car si cela arrivait, ils ne tarderaient pas à se changer en glaciers.

foncer. Ce manque de solidité est peut-être le principal obstacle qui a empêché jusqu'à présent d'atteindre la cime du Chimborazo, dont l'ascension n'a pu être tentée qu'en suivant des arêtes de rochers, d'où les neiges avaient été balayées par les vents. Il paraît que l'évaporation agit d'une manière si puissante dans ces contrées, que l'eau est enlevée par l'air à mesure qu'elle se forme à la surface des neiges. Ce n'est qu'à 15° 30' au sud de l'équateur, au Nevado de Sorata, à l'Est du lac de Chuquitos ou de Titicaca, que les neiges permanentes de l'Amérique méridionale commencent à se changer en vrais glaciers.

Cependant il y en a d'assez considérables : celui du Col. dit le *Crapillon*, entre la vallée de Ferret et celle d'Entrèves, a un quart de lieue de long, et celui du Col de la *Nuffenen* entre le Haut-Valais et le Canton du Tessin, s'étend bien sur une lieue de longueur.

L'intérieur des bas-névés ne présente pas de la glace solide comme les hauts-névés, à l'exception peut-être de leur face inférieure, lorsque le sol, sur lequel ils reposent, est accidenté de manière à ne pas permettre aux eaux un prompt écoulement. Ce manque de glace est la cause pour laquelle les pierres ou les autres corps étrangers qui peuvent se trouver engagés dans les bas-névés, ne reviennent pas à la surface. Ces masses de neige n'ont pas non plus de mouvement, et c'est essentiellement par là qu'elles diffèrent des hauts-névés et des glaciers. Cette immobilité est également due à ce que l'intérieur des bas-névés ne présente pas de glace cohérente. Mais lorsque leur épaisseur augmente, soit par une suite d'années froides, soit par l'effet d'une grande quantité de neige accumulée pendant l'hiver, ces névés ne laissent plus passer l'eau ; ils la retiennent et se transforment peu-à-peu en glaciers ; ils offrent alors tous les phénomènes qui caractérisent ces derniers, et que nous ferons connaître plus loin.

Cependant le retour d'une ou de plusieurs années chaudes, suffit pour les ramener à l'état de névé[1].

§. 4.

CHANGEMENT DES NÉVÉS EN GLACIERS.

Lorsque les hauts-névés acquièrent une grande épaisseur, et qu'ils atteignent les régions où le dégel se fait sentir, et où il pleut fréquemment, ils se changent peu-à-peu en *glaciers*. Etant formés, surtout à leur surface, par des grains incohérents de grésil, ou plutôt de glace compacte, ces névés absorbent avidement l'eau, qui, se congelant dans les interstices de ces grains, les cimente, et transforme ainsi le tout en cette masse solide qu'on désigne par le nom de *glacier*[2].

L'origine des glaciers n'est donc autre chose que le résultat de la congélation de l'eau absorbée

[1] En 1816, 1817 et 1835, j'ai vu passer à l'état de glacier le névé des *Grandes Combes*, que l'on rencontre sur la route à peu de distance de la maison du Grand Saint-Bernard du côté du Valais, il commençait à se crevasser et à prendre du mouvement, ce qu'on reconnut au gazon et aux terres qu'il soulevait.

[2] Les glaciers qui dans les Alpes descendent le plus bas, sont le glacier d'Aletsch, dans le Haut-Valais, le glacier inférieur du Grindelwald, dans le Canton de Berne, et celui des Bois, dans la vallée de Chamounix. L'extrémité inférieure du premier est en moyenne à 3750, celle du second à 3260, et celle du troisième à 3290 pieds au-dessus de la mer.

par les interstices qui séparent les grains de glace dont les névés sont formés.

§. 5.

INÉGALITÉ DE L'ABSORPTION DE L'EAU.

Le volume d'eau qu'un glacier ou un névé absorbe sur les divers points de son étendue, doit être extrêmement inégal, car il dépend principalement de la quantité d'eau de fonte et de pluie qui y arrive. On conçoit donc aisément que cette quantité ne peut pas être la même partout; elle sera plus considérable dans les localités exposées au soleil, que dans celles qui se trouvent à l'ombre, parce que la fonte sera plus forte dans les premières que dans les autres. C'est encore par la même raison qu'elle sera également plus considérable vers l'extrémité inférieure ou le pied d'un glacier que vers le haut, où il fait plus froid. De plus, les portions d'un névé ou d'un glacier qui présentent une pente rapide sur laquelle l'eau peut promtement s'écouler, en absorberont moins que celles dont la pente est moins forte, et qui offrent même des enfoncements dans lesquels l'eau peut s'amasser. Enfin, les parties de neige ou de glace qui se trouvent plus près de la sur-

face et des parois des crevasses, s'imbiberont plus fortement que celles qui en sont plus éloignées.

Ces diverses circonstances empêchent les glaciers de s'imbiber d'eau d'une *manière égale et uniforme* dans toute leur masse; il y aura toujours des portions qui le seront plus que d'autres; fait très-important à consigner pour la théorie des glaciers (§. 7.).

§. 6.

CONGÉLATION DE L'EAU ABSORBÉE.

Le *maximum* de la température à laquelle un glacier ou un névé peut atteindre, ne saurait dépasser zéro, point de fusion de la glace. Il résulte de ce fait, que personne ne révoquera en doute, que la température de l'eau absorbée par un glacier sera très-voisine de 0°, et qu'elle ne sera maintenue à l'état liquide que par le peu de chaleur que lui amènent l'eau venant de la surface et l'air ambiant. Il est donc évident que l'eau absorbée doit se congeler dès que cette unique source de chaleur vient à lui manquer. Cela doit arriver toutes les fois qu'un refroidissement de l'atmosphère fait cesser la fonte superficielle du glacier et disparaître les filets d'eau qui amènent dans l'intérieur de ce dernier le calorique néces-

saire pour maintenir à l'état liquide l'eau qui s'y est infiltrée. Ce refroidissement a en effet lieu toutes les nuits pendant l'été quand le vent du Sud ne règne pas, et l'on sait qu'il ne souffle que rarement dans cette saison. Les personnes qui se sont trouvées sur un glacier, pendant une belle nuit d'été, n'auront pas manqué de sentir après le coucher du soleil un froid vif, qui en peu de temps arrête la multitude de petits filets d'eau dont la surface de la glace était auparavant sillonnée. Elles auront également observé que ces filets ne reparaissent le lendemain que lorsque le soleil a de nouveau réchauffé l'atmosphère [1].

[1] Nous n'ignorons pas que l'on rencontre quelquefois sur les glaciers de petits ruisseaux qui continuent de couler toute la nuit, et des crevasses remplies d'eau qui ne se gèle pas non plus dans cet espace de temps. Mais je ne pense pas qu'on puisse tirer de ce fait une objection contre la congélation nocturne de l'eau absorbée par la glace; car on conçoit facilement qu'une certaine quantité d'eau distribuée dans une multitude de félures ou de fissures capillaires, doit rencontrer un beaucoup plus grand nombre de points de contact avec la glace, que si elle coulait dans une rigole ou remplissait une crevasse, et qu'il faudra dans ce dernier cas un temps plus long, ou un abaissement de température plus considérable, pour déterminer la congélation. Enfin dans la profondeur, la glace doit se trouver même constamment au-dessous de zéro, surtout si l'épaisseur du glacier est un peu considérable. Cette supposition vient d'être confirmée par les expériences tentées par Mr Agassiz sur le glacier inférieur de l'Aar, et d'après lesquelles la température de la glace à 25 pieds de profondeur a été même au-dessous de — $^{1}/_{3}$°, la température extérieure étant + 12. *Etudes sur les glaciers* pag. 204.

Il résulte de ce que nous venons de dire que, pendant les jours d'été, les glaciers s'imbibent d'eau, et que celle-ci s'y congèle pendant les nuits.

§. 7.

EFFET DE LA CONGÉLATION DE L'EAU ABSORBÉE.

Si la quantité d'eau absorbée était répandue d'une manière uniforme dans un glacier, et que la congélation dont nous venons de parler eût lieu instantanément dans toute la masse, il n'y a pas de doute que le glacier ne fût changé en une glace compacte et parfaitement imperméable, comme l'est celle des lacs et des rivières. S'il en était ainsi, la première congélation une fois opérée, l'eau provenant plus tard des pluies et de la fonte superficielle, s'écoulerait de la surface sans pénétrer aucunement dans l'intérieur.

Mais l'eau n'étant pas distribuée d'une manière égale dans tout le glacier, et la congélation ne s'y opérant pas instantanément, la glace ne peut devenir compacte et imperméable. Puisque l'eau, comme chacun le sait, se dilate en se congelant, les portions les plus imbibées d'eau éprouveront par la congélation une plus forte dilatation que celles qui le sont moins. Les divers degrés de

tension qui en résultent dans toute la masse, y doivent nécessairement occasionner des ruptures, des fêlures. Le même phénomène doit avoir lieu également entre les portions qui n'ont pas subi une congélation instantanée.

La congélation de l'eau absorbée produit ainsi dans toute la masse du glacier une tension excessive, qui, étant plus ou moins inégale, occasionne une multitude innombrable de fêlures ou fissures capillaires, lesquelles s'étendent en tous sens et se croisent sous les angles les plus divers[1]. La plupart de ces fissures sont petites et irrégulières. Il y en a aussi quelquefois qui s'étendent en ligne droite et au loin, mais il ne faut pas les confondre toutes indistinctement avec les crevasses, dont nous traiterons plus bas (§. 26.)

§. 8.

STRUCTURE DE LA GLACE DES GLACIERS.

La glace des glaciers ne se distingue de la glace ordinaire que par sa structure, qui est grenue,

[1] Mr Agassiz pense qu'il faut attribuer les fissures capillaires » à la com- » pression des bulles d'air renfermées en si grand nombre dans les névés et » dans la partie supérieure des glaciers et qui s'y trouvent engagées par suite » de la congélation des masses de neige qui se transforment en glace » (*Etudes*

tandis qu'elle est amorphe ou compacte dans l'autre. Les dimensions de ces grains ou *pièces séparées grenues*, varient de la grosseur d'un petit pois à celle d'une noix. Leur forme est toujours anguleuse ou polyédrique, sans cependant présenter un nombre déterminé de facettes, ni aucune régularité dans leur arrangement. Plus ces grains sont gros, moins ils ont d'adhérence entr'eux, de manière que la glace à gros grains se laisse plus facilement briser et égrener que celle dont le grain est fin. Leur dureté est exactement la même que celle de la glace ordinaire, qui, du reste, est sensiblement moins fragile que la glace grenue.

Ces grains ou *pièces séparées* ne peuvent être en aucune manière assimilées à des cristaux. Non seulement leur configuration irrégulière s'y oppose, mais aussi leur mode de formation exclut toute idée de cristallisation. En effet, ces grains ne proviennent que du croisement en tous sens des fêlures ou fissures capillaires qui se forment dans la glace au moment de la congélation de

pag. 35.) Cette explication ne me paraît pas très-claire, car je ne comprends pas bien comment des bulles d'air, engagées dans un corps aussi dur que la glace, pourraient être comprimées et changées en fissures capillaires. Cette compression ne devrait pas avoir lieu à la surface des glaciers, où la glace n'éprouve pas de pression, et pourtant on y observe autant de fissures capillaires que partout ailleurs.

l'eau absorbée, comme cela vient d'être expliqué (§. 7.)

La glace des glaciers renferme encore une multitude de petites bulles d'air provenant de l'air que l'eau a entraîné, et qui s'en est séparé à l'instant de la congélation.

Je ferai encore remarquer que je n'ai jamais observé de différence entre la glace de la surface des glaciers et celle du fond[1].

§. 9.

AUGMENTATION DE LA GLACE.

On voit par ce qui précède que, dans la plupart des nuits durant l'été, les glaciers augmentent de volume par la congélation de l'eau qu'ils ont absorbée pendant le jour, et que, par l'effet de cette même congélation, il se forme de nouvelles fissures et de nouvelles bulles d'air, propres à conduire et à retenir les eaux qui leur arrivent le lendemain par le retour de la chaleur. C'est d'un côté par l'attraction capillaire de ces fissures infiniment étroites, de l'autre par l'intermédiaire des crevasses (§. 28), que l'eau est répandue et distribuée dans toute la masse d'un glacier.

[1] C'est aux glaciers des Bois, d'Argentière, du Breuney, (vallée de Bagnes) et du Rhône que j'ai pu m'assurer de ce fait.



Cette alternative de gelée et dégel, comme je viens de le dire, a lieu pendant la belle saison, surtout à l'époque des jours les plus chauds suivis de nuits fraîches. C'est pendant ces nuits qu'on entend le plus fréquemment dans les glaciers ces craquements produits par la rupture de la glace, craquements quelquefois si forts qu'on croirait entendre des coups de canon. Il arrive aussi que ces bruits occasionnés par la rupture de la glace se font entendre de jour, ce qui autorise à croire que la température de l'intérieur des glaciers est à une certaine profondeur toujours sensiblement au-dessous de zéro. Le silence des vastes solitudes qui entourent les glaciers, n'est guère interrompu par ces sortes de bruits dans les nuits qui succèdent à des jours froids. Cependant je crois que par des jours très-froids de l'hiver, surtout lorsque les glaciers ne sont pas encore abrités par une couche épaisse de neige, je crois, dis-je, qu'on pourrait également entendre des craquements occasionnés par des ruptures de la glace, effet de la contraction inégale que le froid lui fait éprouver. Mais comme les glaciers ne sont guère accessibles pendant cette saison, je n'ai pu arriver à aucune certitude à cet égard,

§. 10.

CONSERVATION DES GLACIERS.

Après ces détails sur le mode de formation des glaciers, occupons-nous un instant de leur mode de *conservation*.

L'opinion la plus généralement reçue sur ce phénomène, admet que les glaciers sont entretenus par deux causes. L'une, ce sont les neiges qui s'y accumulent pendant l'hiver, soit directement en tombant du ciel, soit indirectement, c'est-à-dire en provenant des montagnes environnantes au moyen des avalanches et des vents[1].

L'autre cause, ce sont les hauts névés, qui, à mesure que les glaciers avancent et tendent à des-

[1] On a l'habitude d'exagérer singulièrement la quantité de neige fournie par les avalanches, parce qu'on ne réfléchit pas qu'elles n'ont lieu que pendant un temps très-limité, et que leur volume se réduit à bien peu de chose, lorsqu'on le compare à celui d'un glacier tant soit peu considérable. Il y a même beaucoup de glaciers qui, n'étant pas dominés par des montagnes, n'en reçoivent point. D'autres enfin en sont préservés par des accidents de terrain, tels que de hautes moraines, qui, en forme de rempart, longent leurs bords, et empêchent les avalanches de les atteindre. La quantité de neige que la plupart des glaciers reçoivent par les vents qui balaient les montagnes voisines, est sans contredit plus considérable que celle qui leur arrive par les avalanches. Ces sortes de transports de neiges par les vents, si redoutables pour les voyageurs, sont connus dans la Suisse française sous le nom de *Tourmentes* et dans la Suisse Allemande sous celui de *Guxen*.

cendre vers le pied de la montagne, les remplacent, en se convertissant eux-mêmes en glaciers (§. 4.)

Jusque là l'opinion la plus accréditée sur la conservation des glaciers, ne présente rien de contraire aux faits observés. Mais il n'en est plus ainsi lorsqu'il s'agit d'expliquer la manière dont le volume des glaciers se maintient dans de certaines limites. Car pour rendre compte des causes de ce phénomène, on prétend généralement qu'ils fondent par leur face inférieure à peu près de la même quantité dont ils se sont accrus par les neiges tombées sur leur surface, ou, en d'autres termes, que les neiges qui leur arrivent, les augmentent par-dessus d'une quantité à peu près égale à celle dont la chaleur de la terre doit les diminuer, en les fondant par-dessous.

Si les choses se passaient ainsi, les terres, les pierres, les blocs de roche, etc. qui tombent sur les glaciers devraient nécessairement s'ensevelir sous les neiges et se mêler avec la glace. Par ce seul fait, les glaciers seraient salis de terre, et renfermeraient des blocs et des pierres; dans les localités où ils sont fréquemment exposés aux éboulements, ils devraient présenter même l'aspect d'une brêche ou d'un poudingue, dont le ciment serait de la glace, et ils offriraient une

véritable stratification par l'accumulation successive et hivernale des neiges[1].

Mais rien de semblable n'a lieu. Ceux qui ont visité les hautes Alpes, et examiné avec quelque attention la glace qui forme les parois des crevasses, ont tous été frappés de sa pureté vraiment

[1] Les neiges permanentes ne présentent de véritable stratification qu'à l'état de hauts-névés, et dans les localités où ces derniers passent à l'état de glaciers. Les neiges du Col de Saint Théodule sont très-distinctement stratifiées, comme on peut le voir par le dessin qu'en a donnée Mr Agassiz Pl. 13. Mais ces neiges y sont à l'état de hauts-névés, et nullement à celui de glaciers proprement dits. Mr Agassiz écrit dans ses *Etudes sur les glaciers* pag. 40. » Un autre caractère propre à la glace des glaciers, et qui tient à son mode » de formation, c'est qu'elle est stratifiée. « Quant à nous, nous ne saurions admettre cette assertion, qui nous paraît fondée sur quelque méprise. En effet, Mr Agassiz cite comme exemples de la stratification des glaciers le Mont-Blanc, le Mont-Rose, le Col de Saint Théodule, et le Gries. Mais les trois premières citations sont évidemment relatives à des hauts-névés et non pas à des glaciers; car les neiges permanentes qui couvrent le Mont-Blanc, le Mont-Rose et » le glacier de Saint Théodule, près du Mont-Cervin, là où il s'adosse à son arête septentrionale «, se trouvent à une élévation où la fonte des neiges annuelles ne s'opère que très-incomplètement. Par conséquent, ces neiges ne peuvent être envisagées comme de vrais glaciers, quoiqu'elles présentent, comme probablement tous les hauts-névés, de la glace dans leur intérieur et quelquefois même à la surface. La seule cause de la stratification des hauts-névés est due à ce que les neiges annuelles n'y fondent pas complètement. Quant au Gries, il n'est pas douteux qu'il ne présente une véritable stratification, mais seulement dans sa partie la plus élevée, où il est à l'état de haut-névé; la portion de ces neiges permanentes qui constitue le glacier proprement dit, n'offre qu'une stratification apparente et nullement réelle, provenant des soudures de fentes qui se sont refermées, et qui, à cause de la pente rapide du lit de ce glacier, y sont extrêmement fréquentes (§. 27.)

surprenante, même dans les glaciers les plus jonchés de débris. Ils auront trouvé bien rarement engagées dans la glace des pierres ou quelques veines de terre ou de sable[1]. En prenant des informations sur ce sujet auprès des montagnards habitués à fréquenter les glaciers, ces personnes auront appris que des blocs ou d'autres corps étrangers tombés dans des crevasses sans avoir atteint le fond ou le lit du glacier, finissent par reparaître à la surface au bout d'un temps plus ou moins long. Nous ferons connaître plus loin (§. 25.) la manière dont ces corps reviennent au jour. Cette pureté remarquable de la glace dans l'intérieur des glaciers fournit la preuve incontestable qu'ils ne se maintiennent point par des accumulations ou par des couches de neige, mais bien par la congélation de l'eau provenant de la fonte des neiges et absorbée soit par les fêlures ou fissures capillaires, soit par les bulles qui existent dans la glace. Par conséquent, le névé ou la neige n'est indispensable que pour la formation d'un glacier; car une *masse d'eau* ne peut jamais se changer en glacier. Mais pour se *conserver*, et même pour *acquérir* tout le *développement*

[1] On trouve quelquefois dans les glaciers des veines de sable et de terre, qui, si elles sont parallèles entr'elles, donnent à la glace une fausse apparence de stratification. Nous indiquerons plus bas la cause de cet accident (§. 27).

que les conditions de température lui permettent de prendre, il n'a absolument besoin que d'eau. Peu importe que cette eau provienne de la fonte des neiges ou qu'elle provienne des pluies; cela est tout-à-fait indifférent[1]. Il résulte de ce qui vient d'être dit, qu'un glacier pourrait non pas se former, mais se conserver et même grandir sans jamais recevoir de neige, pourvu qu'il y tombât *fréquemment* de la pluie. Nous disons *fréquemment*, parce qu'une pluie non-interrompue le ferait fondre[2].

Au reste tout le monde sait que les neiges tombées sur les glaciers pendant l'hiver, se retirent complétement presque tous les étés, tout comme elles disparaissent des montagnes et des pâturages voisins; car il suffit de se rendre sur un glacier au printemps et d'y revenir pendant l'été ou vers la fin de cette saison pour se convaincre de l'exactitude de cette assertion. Les régions froides des hauts-névés sont les seules où

[1] Il y a beaucoup de glaciers, surtout parmi les petits, qui n'ont point de névés, comme par exemple ceux des Martinets, de Plan-névé, de Panerossaz au-dessus de Bex; de Pétamont (sur le flanc occidental du Mont-Velan) etc.

[2] De tous les auteurs qui ont traité des glaciers, Mr le Chanoine Rendu est, à mon avis, celui qui a le mieux saisi le rôle important que l'eau joue non seulement dans la formation, mais aussi dans le développement des glaciers. *Théorie des glaciers*, etc. pag. 17 et suivantes.

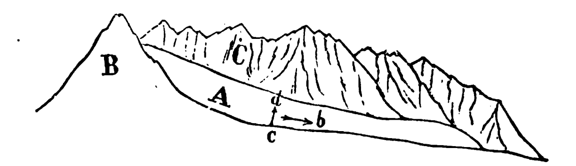
cette fonte ne s'opère qu'incomplètement. Aussi, ce n'est que dans ces hautes régions, comme nous l'avons déjà dit, que les neiges permanentes offrent une véritable stratification, qui se soutient même sur une certaine étendue dans la portion du névé déjà changée en glacier. On reconnaît ces strates soit à quelque différence dans la densité de la neige, provenant des changements alternatifs de température, soit à des veines minces de terre ou de sable amené par les vents, soit enfin à des couches de débris plus volumineux, qui du reste ne se rencontrent que lorsque le névé est dominé par des rochers qui donnent lieu à des éboulements. C'est donc moins dans la fonte et dans l'évaporation, que dans le tassement, dans les vents qui balaient la neige, et surtout dans l'avancement de la partie inférieure du névé, convertie en glacier, qu'il faut chercher la cause qui maintient le volume des hauts-névés dans de certaines limites, et les empêche de prendre un développement excessif et hors de proportion avec celui des glaciers. Je ferai encore observer que la fonte des glaciers par leur face inférieure, laquelle serait produite par l'action de la chaleur terrestre, est une supposition qui n'est rien moins que prouvée. Il y a même quelques faits que nous rapporterons plus bas (§. 30), et qui tendent à faire penser qu'elle n'a nullement lieu.

§. 11.

EXPANSION DES GLACIERS.

Lorsque l'eau absorbée par les glaciers et répandue dans tout leur intérieur par les fêlures ou fissures capillaires (§. 7.) vient à se congeler, elle augmente de volume et communique une sorte d'expansion à toute la masse. Cette dilatation doit agir principalement dans la direction où elle rencontre le moins de résistance. Ce sera donc dans le sens de la pente du glacier et dans celui de son épaisseur.

Fig. II.



Soit A, Fig. II., la coupe longitudinale d'un glacier; B, la montagne d'où il descend; et C, l'un des côtés du vallon dans lequel il est encaissé. Il est évident que la dilatation agira principalement dans le sens des flèches *a b* et *c d*, c'est-à-dire dans le sens de la pente ou de la longueur du gla-

cier et dans celui de son épaisseur ; car dans les autres directions, il éprouvera de la résistance, soit de la part de la montagne B d'où il descend, soit de la part des montagnes C qui l'encaissent. Si un glacier se trouvait sur un plateau ou dans une plaine parfaitement horizontale, il se dilaterait dans toutes les directions. Si sa circonférence décrivait une ligne circulaire, l'éxpansion aurait lieu dans le sens des rayons.

Comme la congélation de l'eau absorbée par la glace se répète presque toutes les nuits durant l'été (§. 6.) et que, dans cette saison, il ne peut guère se produire de retraite ou de contraction sensible par le froid, l'effet de ces expansions successives et si souvent répétées serait infini, si le soleil et la température de l'air n'y mettrait obstacle par la fonte de la glace, qu'ils opèrent à la surface.

Par conséquent, si, dans le courant d'un été, la température de l'air est telle, que les glaciers se fondent d'une quantité égale à celle dont leur volume augmente, tant par la congélation de l'eau absorbée, que par l'avancement du haut-névé, on dit qu'ils sont *stationnaires*. Si au contraire la dilatation est plus forte que la diminution opérée par la fonte, on dit qu'ils *avancent*; et lorsqu'enfin l'effet de la fonte l'emporte sur celui de l'expansion, on dit qu'ils *reculent* ou qu'ils se *retirent*.

Cette dernière expression, quoique consacrée par l'usage, est néanmoins mal choisie, parce qu'elle fait naître une idée fausse, celle d'une contraction, d'une retraite, d'un véritable mouvement rétrograde, effet qui n'a nullement lieu : il vaudrait mieux dire : le glacier *diminue*.

§. 12.

LE CHANGEMENT DE VOLUME DES GLACIERS N'A PAS LIEU A DES ÉPOQUES FIXES.

L'opinion que les glaciers augmentent pendant sept ans, et qu'ils vont en diminuant les sept années suivantes, est assez généralement répandue parmi les habitants des montagnes. Quoique je n'approuve pas ceux qui d'emblée rejettent toute observation faite par les montagnards sur quelque objet de physique ou d'histoire naturelle, si de prime abord elle présente quelque invraisemblance ou bizarrerie[1], je ne saurais cependant ad-

[1] Les montagnards en général sont de meilleurs observateurs qu'on ne le pense communément ; et s'ils se trompent, c'est moins dans l'observation du fait, que dans l'explication qu'ils veulent en donner. Ce sont eux, et nullement les naturalistes, qui les premiers ont observé que les corps étrangers qui sont arrivés par une cause quelconque dans l'intérieur des glaciers, reviennent tous à la surface au bout d'un temps plus ou moins long. Ce fait qui, au premier abord, paraît bien douteux et même invraisemblable, est néanmoins parfaitement exact. Mais si l'observation est juste, on n'en peut pas

mettre cette opinion, qui paraît n'être fondée que sur une vénération superstitieuse pour le nombre sept[1].

Les années où les glaciers avancent, et celles où ils diminuent, ne reviennent pas plus à des époques fixes, que les étés, chauds et secs et les étés froids et pluvieux, ou que les hivers où il y a beaucoup de neigé, et les hivers où il y en a peu.

Lorsque la neige a été abondante pendant un hiver, et qu'à cet hiver succède un été pluvieux, on voit tout de suite les glaciers augmenter de volume et avancer, parce que plus il y a de neige,

dire autant de l'explication qu'ils en donnent; ainsi lorsque nous lui demandâmes la cause de ce singulier phénomène, le brave montagnard de la vallée de Bagnes, qui, en 1815, nous accompagna sur le glacier du Breuney, nous répondit gravement, après quelques instants de réflexion : » Voyez-vous, » Monsieur, les glaciers rejettent tout ce qui tombe dedans, parce qu'ils » n'aiment pas la saleté ».

[1] On sait que dans tout pays les habitants des montagnes sont généralement plus enclins aux croyances superstitieuses que ceux des plaines, vu que ceux-ci par le voisinage des villes et par leur contact plus fréquent avec les étrangers, reçoivent un peu plus d'instruction. Il n'y a pas plus de 8 jours que je rencontrai un paysan dans la vallée de Ferret : il m'assura très-sérieusement, que la cause qui a empêché les glaciers de sa commune de reprendre le développement qu'ils avaient eu en 1818, était due à la messe que les habitants de la vallée font célébrer depuis cette époque une fois par an, dans le but même de prévenir l'accroissement des glaciers. En outre, j'ai toujours remarqué que les montagnards ont peu de mémoire de dates ; ils se rappellent très-bien un évènement, mais il est rare qu'ils sachent indiquer d'une manière précise l'année dans laquelle il a eu lieu. J'ajoute à l'appui de cette remarque, qu'il y a beaucoup de vignerons à Lavaux dans le Canton de Vaud qui croient à une alternative de sept années sèches et de sept années humides.

plus ils seront imbibés d'eau, et plus ils se dilateront par la congélation de cette dernière. Les pluies, qui, dans ces hautes régions, sont ordinairement froides, abaissent la température, et diminuent ainsi la fonte superficielle des glaciers sans toutefois les priver d'eau.

Les étés secs et chauds, précédés d'hivers peu abondants en neige, présentent les conditions les plus favorables à la prompte diminution du volume des glaciers; car l'absence d'une couche épaisse de neige exposera plus tôt leur surface à l'action de la chaleur et du soleil, et, par conséquent, la fonte en sera plus considérable et produira plus d'eau qu'ils n'en pourront absorber et convertir en glace[1].

[1] Les étés froids et pluvieux qui alternèrent avec des hivers très-abondants en neige, depuis 1812 jusqu'en 1817 inclusivement, firent grandir d'une manière extraordinaire tous les glaciers de nos environs. Ils parvinrent en 1818 au maximum de leur accroissement. Les vieillards les plus âgés ne se souvenaient pas de les avoir vus avancer autant. Les habitants de la vallée de Chamounix furent vivement alarmés de voir les glaciers envahir leurs prés et leurs champs, et menacer de détruire les hameaux d'Argentière et des Bois. En 1819, les glaciers restèrent à peu près stationnaires ; cependant, en 1820, ceux de Miage et de Brenva, sur le versant méridional du Mont-Blanc, continuèrent encore leur mouvement progressif. En 1821, ils commencèrent à diminuer sensiblement. Les chaleurs, qui arrivèrent de fort bonne heure en 1822, et qui durèrent jusque vers le milieu d'Octobre, hâtèrent singulièrement la fonte. Ils restèrent petits et stationnaires jusqu'en 1826, époque où ils commencèrent derechef à avancer jusqu'en 1830. Depuis cette année ils ne firent guère de progrès jusqu'en 1833; alors ils se mirent de nouveau à grandir

Pendant les étés secs et froids les glaciers restent stationnaires.

§. 13.

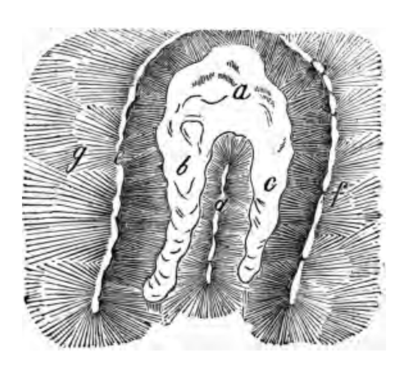
CAUSE POUR LAQUELLE DANS LA MÊME ANNÉE DES GLACIERS GRANDISSENT ET D'AUTRES DIMINUENT.

Il arrive fréquemment que dans la même année des glaciers avancent, tandis que d'autres restent stationnaires, ou même diminuent. Cette anomalie n'a rien de surprenant quand on l'observe sur des glaciers éloignés; car on sait que la quantité de neige tombée pendant un hiver n'est pas la même partout, mais qu'elle varie beaucoup dans des localités un peu distantes, quoique se trouvant d'ailleurs à peu près sous la même latitude et à la même hauteur au-dessus de la mer. Mais ce qui paraît au premier abord bien extraordinaire, c'est qu'il n'est pas rare de remarquer cette anomalie sur des glaciers de la même vallée, qui sou-

un peu. Ils diminuèrent derechef en 1836 et 1837. En 1838 les glaciers que nous eûmes occasion de visiter (la mer de glace, le glacier de Panerossaz et celui des Martinets au-dessus de Bex) parurent vouloir avancer. Mais, en 1839, les glaciers de nos environs et ceux de la vallée de Bagnes et d'Entremont, sont allés tous en diminuant. Il en a été de même en 1840; cependant j'ai trouvé en Août le glacier de Gorner près de Zermatt beaucoup plus grossi qu'il ne l'était même en 1818. J'indiquerai plus loin la cause de cette anomalie (§. 13.)

vent ne sont séparés l'un de l'autre que par un seul chaînon de montagnes, il arrive même qu'une arête de rochers peut diviser un glacier en deux branches, et que la même année l'une d'elles va en augmentant, tandis que l'autre va en diminuant. Ce fait, qui, au premier abord, paraît bien extraordinaire, s'explique cependant facilement par la direction des vents qui ont régné pendant l'hiver.

Fig. III.



Soit *a* (Fig. III.), un glacier qui se divise en deux branches *b* et *c* par la rencontre de l'arête *d*, que nous supposons moins élevée que les montagnes *e* et *f*, comme c'est le cas à la montagne de la Côte, qui sépare le glacier des Bossons de celui du Taconay. Si le vent vient dans la direction de *e* à *f*, il balaiera la neige qu'il trouvera sur la

pente *g* de la montagne *e*, et lui fera franchir l'arête pour la déposer dans le bas-fond occupé par le glacier *b*, lequel est abrité contre ce vent précisément par la montagne *e*. Plus loin, le vent rencontrera la montagne *d*, qui sépare les deux glaciers. Mais comme celle-ci est déjà trop éloignée de la montagne *e*, pour en être également abritée, le vent en emportera la neige, et au lieu de la déposer sur le glacier *c*, il lui fera franchir la montagne *f*, parce que l'arête *d* n'est pas assez haute pour garantir le glacier *c* de l'action du vent, et pour engager la neige à s'y accumuler. Dans ce cas, le glacier *b* sera chargé de neige, tandis que son voisin *c* en sera plutôt dégarni. Il va sans dire que l'effet contraire aura lieu lorsque le vent soufflera dans la direction de *f* à *e*.

On conçoit aisément que les deux glaciers recevront à peu près une égale quantité de neige si le vent change souvent de direction, ou, ce qui du reste revient au même, si, durant l'hiver, il souffle autant de jours dans une direction que dans l'autre. Mais si, au contraire le vent a suivi plus fréquemment et plus longtemps la même direction, le glacier le plus abrité doit se charger de beaucoup plus de neige que son voisin, et augmenter en proportion l'été suivant[1].

[1] Dans la course que j'ai faite à Zermatt au mois d'Août de cette année (1840) j'ai trouvé le glacier de Gorner tellement grandi qu'il envahissait les

Je dois encore faire observer que deux glaciers soumis d'ailleurs aux mêmes conditions, mais offrant des pentes différentes, n'avanceront pas également. Celui qui est le plus rapide avancera plus, ou en d'autres termes, augmentera plus en longueur que celui dont la pente est plus douce; mais celui-ci, en revanche, gagnera plus en épaisseur, ce dont j'ai pu bien me convaincre en 1818, en comparant l'état de la *Mer de glace* avec le *glacier des Bossons*. D'un autre côté, s'il survient

près d'Aroleit, où il avait déjà détruit une douzaine de granges. J'ai appris des gens de la vallée que, depuis 5 ou 6 ans, ce glacier allait toujours en augmentant. En revanche, j'ai trouvé le glacier de Finelen considérablement diminué depuis la dernière fois que je l'avais vu (en 1823); cependant il n'est séparé de celui de Gorner que par un chaînon de montagnes qui s'élève peu au-dessus de la surface de ces deux glaciers. Ce fait s'explique aisément par la direction des vents, et voici comment : le glacier de Gorner est formé par la réunion des glaciers qui descendent du flanc septentrional des diverses montagnes dont l'ensemble constitue le massif du Mont-Rose. Il en longe le pied dans la direction de l'Est à l'Ouest jusqu'à peu de distance de son extrémité inférieure où il se coude vers le nord. Le glacier est donc abrité par ces hautes montagnes contre les vents du Sud et du Sud-Ouest, qui depuis 5 ou 6 ans ont fréquemment régné, et ont rendu les hivers passablement doux, du moins dans nos contrées. Ces vents ont balayé la neige des pentes méridionales de ce massif, et l'ont transportée sur son flanc septentrional, où elle a augmenté le volume des glaciers aux dépens de ceux qui couvrent les pentes du côté du Sud. En effet, on m'a assuré que les glaciers du Breuil et de Saint-Jean d'Ayas, ont considérablement diminué. Quant au glacier de Finelen, on remarque que la montagne qui le sépare de celui de Gorner, n'est pas assez élevée pour l'abriter contre ces mêmes vents, qui, loin d'y accumuler de la neige, l'en emportent plutôt, et occasionnent ainsi la diminution de ce glacier.

une série d'années chaudes, on comprendra aisément que les glaciers à pente rapide diminueront plus rapidement que ceux dont la pente est douce, et que ceux-ci continueront encore à avancer pendant que les autres iront déjà en diminuant. En effet, les glaciers à pente rapide, ayant ordinairement moins d'épaisseur que les autres, doivent aussi diminuer plus promptement.

§. 14.

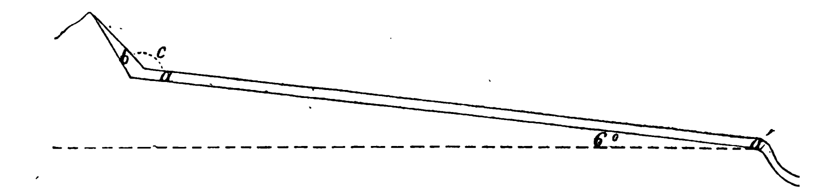
LES GLACIERS NE SE MEUVENT PAS PAR L'EFFET DE LEUR PROPRE POIDS.

Quoique nous ayons déjà fait voir plus haut (§. 11.) que le mouvement des glaciers ne consiste qu'en une sorte d'expansion que leur fait éprouver l'augmentation de volume de l'eau au moment de sa congélation dans leur intérieur; quoique nous ayons pareillement démontré que ce mouvement ne peut être que progressif; nous devons cependant revenir sur cet objet pour réfuter l'opinion encore aujourd'hui la plus généralement reçue, que ce mouvement est occasionné par le propre poids des glaciers et qu'il constitue un véritable glissement, tel qu'éprouverait un corps quelconque placé sur un plan incliné et obéissant aux lois de la pesanteur.

se persuader qu'une masse solide d'environ 54,000 pieds de longueur, de plus d'un quart de lieue de largeur moyenne, et de 120 à 160 pieds d'épaisseur, puisse se mouvoir par l'action de son propre poids, et glisser sur un plan incliné de 5 à 6 degrés? Il n'y a même aucune probabilité à ce que le sol de la vallée que la Mer de glace occupe, soit uni et ne présente aucun obstacle. La configuration extérieure du glacier indique au contraire que son lit est très-inégal et hérissé de rochers qui doivent opposer un obstacle insurmontable à ce prétendu glissement.

Si l'on répond que le haut-névé qui termine la Mer de glace du côté du Tacul, ayant une pente extrêmement rapide et pesant sur le glacier, le pousse et le fait mouvoir et avancer, nous ferons voir que cette explication est absolument inadmissible.

Fig. IV.



Soit (Fig. IV.) *a, a' a''*, la coupe longitudinale de la Mer de Glace, dès le haut-névé du Tacul *b*,

jusqu'au pied du glacier *a''*. L'échelle de cette coupe est à raison de 3 millimètres (1 ligne vaudoise) pour 2,000 pieds; mais je dois avertir que l'épaisseur du glacier est dans des proportions beaucoup trop fortes dans la figure.

En jetant un coup d'œil sur cette figure, on se convaincra aisément qu'il est impossible que la pression du haut-névé *b* sur la portion postérieure *a* du glacier puisse être assez forte, quelque immense que l'imagination la plus hardie la supposât, pour parvenir à mettre en mouvement et à pousser en avant toute la masse *a*, *a'*. Si le névé *b* ne pouvait pas se maintenir par lui-même sur son lit ou sa base fortement inclinée, au lieu de déplacer le glacier, il s'éboulerait plutôt par dessus, et formerait la bosse ou le bourrelet indiqué par la ligne pointée *c*. Mais ces sortes de bosses au pied des hauts-névés ne se rencontrent ni au Tacul, ni sur aucun autre névé à moi connu. Je dois encore faire observer que la Mer de glace ne suit pas une ligne droite depuis le Tacul jusqu'à son extrémité inférieure; mais que la vallée dans laquelle elle est encaissée, forme un coude à peu près vis-à-vis du glacier du Talèfre, de manière que l'action de la prétendue pression du haut-névé devrait être paralysée par cette seule circonstance, et n'avoir aucun effet sur la portion de la

Mer de glace comprise entre ce coude et le Montanvert [1].

Une troisième objection contre le mouvement des glaciers par leur propre poids se tire de leur immobilité pendant l'hiver. Car c'est un fait reconnu et attesté par tous ceux qui demeurent dans leur voisinage, tels que les habitants de Chamounix, de Zermatt, de Saas, de Grindelwald etc. que les glaciers restent parfaitement stationnaires dans cette saison, et ne commencent à se mouvoir qu'à la fonte des neiges [2]. Si le mouvement des glaciers était dû à l'action de la pesanteur, l'hiver, loin de l'arrêter, devrait plutôt le favoriser, parce que les neiges, qui s'y accumulent dans cette saison, en augmentent le poids, et devraient ainsi contribuer à les faire glisser. Les considérations qui précèdent, et auxquelles au besoin nous pourrions encore en ajouter d'autres, prouvent, à ce qu'il me semble, d'une manière évidente, que

[1] Le glacier des Bossons *remonte* même le flanc d'un monticule qu'il rencontre à peu de distance de son extrémité inférieure.

[2] Mr de Saussure rapporte (*Voy. dans les Alpes* §. 538.), qu'il avait vu en 1764 de la manière la plus évidente que le mouvement des glaciers avait lieu » *même dans une saison qui est encore l'hiver pour ces montagnes.* » Cette dernière remarque fait supposer que le printemps était déjà arrivé, mais que les montagnes étaient encore entièrement couvertes de neige, comme il le dit même expressément. Dans ce cas il est probable que la fonte avait déjà commencé, et que sans être bien avancée, elle fournissait déjà assez d'eau pour abreuver le glacier et le faire avancer.

le mouvement des glaciers n'est point produit par l'action de leur propre poids, mais par celle de la *dilatation qu'ils éprouvent au moment de la congélation de l'eau qu'ils ont absorbée*. Le judicieux Scheuchzer attribua déjà en 1705, le mouvement des glaciers à cette même cause (*Itinera alpina* etc. pag. 287)[1]. Mon frère Toussaint de Charpentier et Mr le Chanoine Biselx ont énoncé en 1819 la même opinion; mais ils ont donné, l'un et l'autre, trop d'importance à l'eau contenue dans les crevasses, accident qui se rencontre trop rarement pour qu'il puisse produire un effet bien sensible sur le mouvement des glaciers.

§. 15.

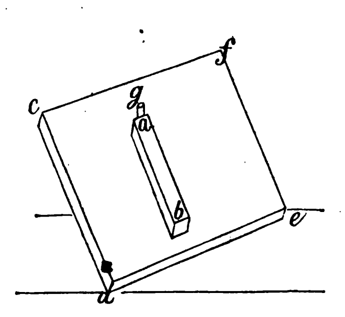
MANIÈRE DONT LES GLACIERS PEUVENT SE MOUVOIR SUR DES PENTES RAPIDES SANS PRENDRE UN MOUVEMENT D'ACCÉLÉRATION.

Examinons maintenant comment les glaciers, même ceux qui reposent sur des lits à forte pente,

[1] L'idée la plus singulière qu'on se soit jamais formée sur la cause du mouvement des glaciers, a été exposée dans un mémoire intitulé : *On the mechanism of glaciers, from the transactions of the geological society. Dublin by R. Mallet.* 1838. L'auteur suppose que le lit des glaciers présente un ou plusieurs étages ou terrasses, occupés chacun par un lac, qui touche à la face inférieure du glacier. Ce dernier doit être percé d'ouvertures en forme de tubes, semblables à des trous de sonde ou de puits artésiens, dont l'orifice

peuvent se mouvoir *sans prendre un mouvement accéléré* qui les précipite jusqu'au pied de la pente qui les supporte.

Fig. V.



Pour nous rendre compte de ce fait, plaçons une barre de fer *a b* (Fig. V.) sur le plan *c, d, e, f,* lequel est assez fortement incliné pour que la moindre augmentation de pente fasse glisser la barre. Dans cette position, le plus léger choc ou la plus faible pression appliquée à l'extrémité su-

inférieur plonge dans le lac. Ces tubes doivent se remplir d'eau qui doit agir sur le glacier, comme l'eau du tube étroit d'une machine à colonne d'eau agit sur le gros piston; elle doit le soulever légèrement, et dans cet état de soulèvement, qui du reste, n'est que de courte durée, le glacier se trouvant dégagé de tout frottement contre les rochers, et pouvant suivre l'influence de son propre poids, doit se mouvoir en avant. Le jeu doit recommencer chaque fois que les tubes se seront remplis derechef. Voilà une explication qui a besoin de commentaire, mais non pas de réfutation.

périeure *a* de la barre, la ferait rapidement descendre jusqu'au pied du plan. Mais si, au lieu de lui imprimer quelque impulsion, on la chauffait sur place, elle se dilaterait en raison de sa longueur et du degré de chaleur communiqué, et subirait cette dilatation sans prendre un mouvement accéléré. Supposons qu'un obstacle quelconque *g*, l'empêche de s'étendre dans la direction de *b* à *a*, la barre ne pourra s'alonger que dans la direction de *a* à *b*.

Pendant la durée de ce mouvement, chaque point de la barre se déplacera légèrement, et la face inférieure frottera sur le support ou plan incliné. Supposons encore qu'elle conserve, même après le refroidissement l'augmentation, de volume qu'elle avait acquise par l'action de la chaleur, et que, par un moyen quelconque, on puisse lui rendre constamment ce qu'elle perd en densité par l'effet de la dilatation (comme cela arrive aux glaciers). En admettant enfin qu'il soit possible de la soumettre à ces conditions et de répéter l'expérience indéfiniment, on parviendra à augmenter le volume de la barre, d'une quantité indéfinie, sans que cette expansion lui communique un mouvement accéléré qui la fasse descendre au pied du plan. Néanmoins elle exercera un frottement durant tout le temps que la chaleur provoquera sa dilatation. Cette expérience, quoi-

que imaginaire, nous donne cependant une idée assez juste de ce qui se passe dans les glaciers, lorsqu'ils se dilatent par l'effet de la congélation de l'eau qu'ils ont absorbée; elle nous explique encore comment ils peuvent se mouvoir et exercer un frottement, soit sur le lit qui les supporte, soit contre les rochers avec lesquels ils se trouvent en contact, sans toutefois prendre un mouvement accéléré, qui les ferait se précipiter au bas de la pente sur laquelle ils reposent, si cette dernière était fortement inclinée. Le mouvement des glaciers s'opère d'une manière si lente qu'il échappe à la vue, comme le mouvement de l'aiguille qui sur les montres indique les heures. Je n'ignore pas ce que l'on a raconté des mouvements brusques et par sauts des glaciers; mais jamais je n'ai rencontré personne qui en ait été témoin; c'était toujours sur des ouï-dire que se fondaient ces contes.

§. 16.

PUISSANCE DE LA FORCE EXPANSIVE DES GLACIERS.

Les glaciers, en se dilatant, exercent contre les objets qui tendent à s'opposer à leur mouvement, une action dont ceux qui n'en ont pas vu les effets, ne sauraient guère se représenter la puissance. Il n'y a que les rochers en place [1] qui

puissent résister à la force d'un glacier qui avance. Aucune construction faite par la main de l'homme ne pourrait seulement lui faire changer de direction. Il renverse, pousse devant lui, ou rejette sur les côtés tout ce qu'il rencontre sur son passage, même les blocs de roche, quelque gros qu'ils soient. En 1818, le glacier de Schwarzberg, dans la vallée de Saas, déplaça un bloc de serpentine qui, par ses dimensions gigantesques, avait attiré l'attention des habitants de la vallée, qui l'appellent le Blaustein. Ce bloc a, d'après les mesures de Mr Venetz, 244,000 pieds cubes de volume [2]. Cette même année, où les glaciers acquirent un développement extrêmement considérable (§. 12), nous avons vu le glacier du Trient détruire une portion de forêt en s'insinuant entre le roc vif et la terre, et renverser sur lui-même le terrain dans lequel les arbres étaient enracinés. Cependant, lorsqu'un glacier atteint un bassin ou une vallée large, de manière à pouvoir s'étendre librement de tous côtés, il cesse alors de creuser et de soulever le

[1] Le fameux éboulement des Diablerets en 1749, et celui qui, le 14 Septembre 1721, couvrit le pâturage de ~~Prat-Sec~~ Praz-Sec dans la vallée d'Entrèves, sont attribués à des chutes de rochers qui avaient été disloqués et renversés, l'un par le glacier des Diablerets et l'autre par celui d'Ameron. Mais il est probable que ces rochers étaient déjà fortement fissurés et ébranlés.

[2] Ce bloc a 68 pieds de longueur, 57 de largeur et 63 de hauteur.

terrain plat qu'il rencontre, surtout si celui-ci est dépourvu de terre végétale, et assez graveleux pour ne pas retenir l'eau qui s'imbibe[1].

§. 17.

USURE DES SURFACES QUI SE TROUVENT EN CONTACT AVEC LES GLACIERS.

L'expansion de la glace fait que les glaciers exercent une pression énorme contre les rochers qui les encaissent, et qu'ils en remplissent toutes les sinuosités. Le sol qui leur sert de lit ou de support, éprouve tout l'effet de leur poids. Il résulte de là que le mouvement imprimé par la dilatation à toute la masse d'un glacier, occasionne un frottement si considérable contre ces rochers, que leur surface s'use, se creuse, devient lisse et prend même un léger poli, si toutefois la roche par sa dureté est susceptible de le recevoir. Le sable et les petites pierres qui se trouvent accidentellement entre la glace et la roche, font en quelque sorte l'office de l'émeril, et favorisent ainsi l'effet du frottement. C'est à la présence de ces grains de

[1] En 1818, le glacier du Tour dans la vallée de Chamounix avait avancé, sans creuser, d'environ 80 pieds sur un terrain graveleux et dégarni de terre ; mais au bout de cet espace il rencontra des prairies, dont le sol, étant de la terre un peu marécageuse, fut entièrement soulevé et bouleversé.

substances dures qu'il faut attribuer les stries et raies fines qu'on observe quelquefois sur les surfaces frottées et usées par les glaciers, surtout si la roche est dure et qu'elle résiste bien à la décomposition, comme, par exemple, le granite et le gneis très-quarzeux et le poudingue très-siliceux. Ces lignes ou raies, qui, par leur finesse, leur parallélisme et leur régularité, semblent souvent être tracées avec la pointe d'un burin, ne se dirigent pas dans le sens de la pente des surfaces, comme elles le feraient, si elles étaient produites par des corps durs, charriés par l'eau; mais elles suivent constamment la direction que le glacier a été forcé de prendre dans son mouvement; mouvement qui se conforme toujours à la configuration extérieure du terrain[1]. Elles fournissent, partout où elles se rencontrent, un excellent moyen de distinguer les frottements produits par les glaciers, de ceux qui sont le résultat des courants d'eau, lesquels ne produisent jamais ces sortes de raies.

Ces surfaces frottées et usées fournissent de plus le moyen de reconnaître le maximum de volume qu'un glacier peut avoir atteint. C'est un fait très-important pour la théorie du transport des

[1] La Planche 18 de l'atlas de Mr Agassiz représente très-bien des échantillons de diverses espèces de roches qui ont éprouvé l'effet de ce frottement.

blocs erratiques, et nous y reviendrons plus tard (§. 56).

§. 18.

MORAINES.

La plupart des glaciers, sinon tous, sont plus ou moins exposés à être atteints par des chûtes de pierres et par des éboulements de rochers. En outre, les hauts-névés contribuent encore à augmenter la quantité de ces matériaux par les débris ensevelis dans leur neige, laquelle, dès qu'elle se change en glace, parvient toujours à se débarrasser de ces débris et à les faire paraître à la surface, comme on le verra plus bas (§. 25). Ces matériaux, répandus sur le glacier, finissent tous par atteindre les uns les côtés, les autres, — et c'est le plus grand nombre, — le pied ou l'extrémité inférieure; ils roulent sur les bords, où ils se mêlent avec les matériaux que le glacier a rencontrés sur son passage et qu'il a poussés devant lui. Il se forme de cette manière, le long des deux côtés du glacier et à son pied, un entassement informe de terres, de sable, de gravier et de blocs de toutes les dimensions.

Ces amas de débris portent en français le nom de *moraines*, et en allemand celui de *Gandecke*. On

nomme *moraines latérales* celles qui longent les bords ou les deux côtés d'un glacier, et j'appellerai *moraines frontales* celles qui se trouvent à son pied, c'est-à-dire devant son extrémité inférieure.

Si les accidents du terrain et le cours des torrents ne mettent aucun empêchement au dépôt des débris, ce sont les moraines frontales qui présentent ordinairement l'accumulation la plus considérable, surtout dans l'endroit qui correspond à la ligne médiane du glacier, c'est-à-dire à la ligne qui le partagerait dans toute sa longueur en deux portions égales. Il est superflu de faire observer que l'extrémité supérieure ou la tête d'un glacier ne peut se terminer par une moraine.

Il existe encore une troisième sorte de moraines appelées en français *Bandes* et en allemand *Guffer* ou *Gufferlinien*[1]. Elles se distinguent des autres amas par leur position, c'est-à-dire qu'elles ne se trouvent pas entassées à côté des glaciers, mais sur les glaciers mêmes, sur leur dos; c'est à cause de cette circonstance que je les désignerai par le nom de *moraines superficielles* réservant le mot *bandes* pour les moraines ordinaires peu considérables, c'est-à-dire pour celles qui, au lieu de présenter

[1] Le mot *Guffer* veut dire débris, fragment de roche. Quelquefois aussi on s'en sert comme équivalent du mot échantillon (Stufe en bon allemand).

des accumulations en forme de digues, n'offrent que des traînées de débris plus ou moins espacés. Comme les moraines superficielles présentent des phénomènes qui leur sont propres, j'en ferai plus loin le sujet d'un paragraphe (§. 20).

Aucune véritable moraine n'offre la plus légère stratification; les débris qui les composent, sont accumulés sans aucun ordre apparent; on y trouve entassés pêle-mêle des blocs dont la grosseur varie de celle du poing jusqu'à plusieurs toises cubes, mêlés indistinctement avec des graviers et avec le sable le plus fin. On trouve quelquefois, il est vrai, dans le voisinage des glaciers, des dépôts distinctement stratifiés et formés par eux. Mais on ne peut pas les envisager comme de véritables moraines. Je les ferai connaître plus loin (§. 24).

Les fragments de roches qui constituent ces entassements sont, les uns anguleux, les autres plus ou moins arrondis, c'est-à-dire à arêtes et à angles écornés ou émoussés. Leur surface est ordinairement raboteuse; mais on en trouve aussi beaucoup où elle est aussi lisse que celle des blocs et galets roulés par les torrents et les rivières. C'est le frottement que ces fragments éprouvent par le mouvement du glacier, qui les façonne de cette manière. Cependant, lorsque des blocs sont éparpillés sur le dos d'un glacier, et ne se trouvent guère en contact les uns avec les autres, le

mouvement seul de la glace n'altère pas leur forme. Dans cet état, ils sont transportés à de grandes distances et conservent leurs arêtes et leurs angles aussi intacts que s'ils avaient fait ce trajet sur un traîneau. Les glaciers du Rhône, de Viesch, de Zmutt, de l'Arpettaz, d'Argentière, de la Mer de glace etc. charrient constamment des blocs tels que ceux que nous venons de mentionner.

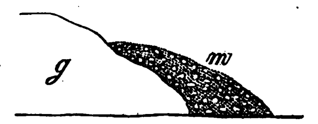
§. 19.

FORME DES MORAINES.

La forme des moraines peut en général se comparer à celle d'une digue ou d'un rempart, c'est-à-dire qu'elles présentent des monticules alongés dont les deux talus sont joints par une arête tronquée ou arrondie. L'inclinaison des talus, comme nous le ferons voir plus bas, dépend principalement de la pente du terrain sur lequel l'entassement a eu lieu. En général, l'inclinaison du talus qui est tourné contre le glacier est beaucoup plus variable que celle de l'autre, qui est de 35 à 40°, si toutefois le terrain sur lequel la moraine s'est déposée, est à peu près horizontal ; au contraire, le degré de pente du premier dépend beaucoup soit du temps que le glacier a mis à diminuer, ou, comme on dit communément, à se retirer, soit

de la quantité de débris qu'il amène habituellement. Le volume des moraines varie selon la quantité de débris que le glacier charrie, et qu'il peut avoir rencontrés sur son passage et poussés devant lui. Pendant qu'un glacier est en progrès, il entasse ces débris ; lorsqu'il est stationnaire, la moraine s'augmente par les blocs et les pierres qui roulent depuis le bord. Les moraines ne se forment donc que lorsqu'un glacier avance et durant tout le temps qu'il reste stationnaire. Lorsqu'il diminue, ou, en d'autres termes, lorsqu'il fond, les matériaux dont il est recouvert, tombent peu à peu sur le sol et y restent éparpillés sans former d'entassements réguliers. On appelle *fond de glacier*, en allemand *Gletscherboden*, ces sortes de terrains parsemés de blocs et ayant servi de lit de glacier.

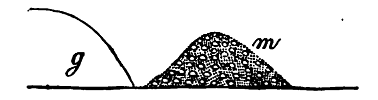
Fig. VI.



Pendant tout le temps qu'un glacier avance ou qu'il reste stationnaire, c'est-à-dire pendant qu'une moraine s'entasse, la coupe transversale présentera la forme représentée par la Fig. VI. où *g*, in-

dique le glacier, et *m* la moraine. On voît qu'une portion en est supportée par la glace.

Fig. VII.



Dès que le glacier diminuera, la moraine prendra peu à peu la forme représentée par la Fig. 7, si toutefois le terrain est plat ou peu en pente. Mais lorsque le sol est fortement incliné contre le glacier, la forme de la moraine change et devient à peu près celle que nous avons représentée par la Fig. VIII. et IX.

Fig. VIII.

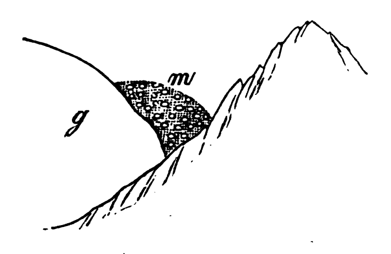
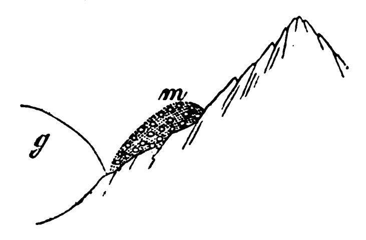
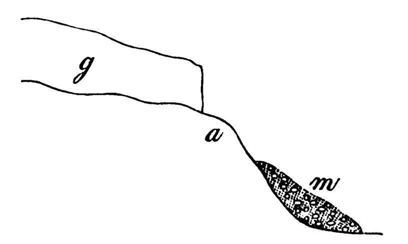


Fig. IX.



La première indique la coupe du glacier et de la moraine pendant que celle-ci se forme, et la seconde, le même objet après la diminution, ou la retraite du glacier. Dès que la pente des montagnes qui encaissent un glacier, dépasse 45°, la formation des moraines latérales devient impossible, parce que les débris ne peuvent plus s'arrêter sur une pente aussi rapide. Ils resteront donc sur le glacier, ou ils y retomberont dès qu'il diminuera.

Fig. X.



Lorsqu'un glacier *g*, Fig. X, aboutit à un précipice, ou seulement à une pente rapide *a*, les dé-

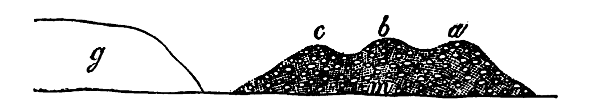
bris ne peuvent pas s'arrêter immédiatement devant le glacier, mais ils roulent jusqu'au pied de la pente *a*, où ils forment le dépôt *m*, qui, quoique éloigné du glacier, n'en est pas moins une moraine. Ces sortes de moraines au pied des précipices ou sur les flancs des fortes pentes, comme on en voit au glacier de *Tzezettaz* et de la *Lire-rouge*, dans la vallée de Bagnes, au glacier de *Barme-neyre* aux Diablerets, de *Plan-névé*, à beaucoup de glaciers de la vallée de Saint Nicolas, etc. ces moraines, dis-je, ressemblent à des éboulements, et peuvent donner lieu à de grandes méprises, si le glacier qui les a produites, a entièrement disparu, ce qui est très-fréquemment le cas, comme on le verra plus loin. Cependant on distingue toujours un éboulement d'une moraine par la forme des fragments de roche, qui, dans le premier, sont tous à arêtes et à angles vifs et tranchants, tandis que dans l'autre, il y a toujours mélange de blocs anguleux avec des blocs arrondis et frottés. En outre, dans la plupart des cas, une moraine offre différentes espèces ou variétés de roches, c'est-à-dire qu'on y trouve toutes celles qui entrent dans la constitution des montagnes dominant le glacier; en revanche, un éboulement ne présente que l'espèce de roche dont est formée la portion de la montagne d'où il s'est détaché.

Les inégalités et les divers degrés de pente du

sol sur lequel une moraine s'entasse; la manière inégale dont les débris de roche sont répandus sur le glacier; la rencontre de quelque torrent qui gêne l'accumulation de ces matériaux, etc.; voilà tout autant de causes qui modifient et changent la forme et le volume des moraines, et qui font qu'elles ne présentent pas sur toute leur longueur la même configuration.

Il est presque superflu de faire remarquer que très-fréquemment, une moraine est derechef atteinte par le glacier et bouleversée, et que ces débris sont poussés en avant jusqu'à la rencontre d'une plus ancienne, de manière que plusieurs moraines peuvent ainsi se réunir en une seule. Si ces sortes de réunions n'ont pas été complètes, on peut le connaître au nombre d'arêtes qui, dans ce cas, terminent ces moraines doubles, triples et multiples.

Fig. XI.



La Fig. XI. présente la coupe d'une moraine triple *m*. Le glacier *g* a formé en premier la moraine *a*. Plus tard il y est revenu, sans cependant

atteindre l'arête *a*, et a entassé la moraine *b*; après s'être retiré de nouveau, il s'est avancé une troisième fois sans parvenir jusqu'à l'arête *b*, et a laissé, en diminuant, la moraine *c*. Presque tous nos glaciers présentent de ces moraines multiples, si toutefois les torrents et les pentes trop rapides de sol environnant n'ont pas empêché l'entassement des débris[1].

§. 20.

MORAINES SUPERFICIELLES.

Les moraines superficielles, sont également formées par les débris de roches tombés directement sur le glacier, et par ceux, qui, amenés dans son intérieur par la neige des hauts-névés, ont été ramenés à la surface par la double action du mouvement et de la fonte superficielle de la glace, comme nous l'expliquerons plus loin (§. 26). Elles ne se distinguent donc des autres moraines que par leur position, c'est-à-dire, qu'elles ne se trouvent pas sur le terrain à côté du glacier, mais

[1] Parmi les moraines qui offrent très-visiblement cet accident, et qui sont le plus à la portée des voyageurs, je citerai les anciennes moraines du glacier d'Argentière et celles du glacier des Bois, qui, les unes et les autres, sont coupées par le chemin du Col de Balme au Prieuré de Chamounix. Je nommerai encore le glacier du Rhône, du Rossboden, de Viesch etc.

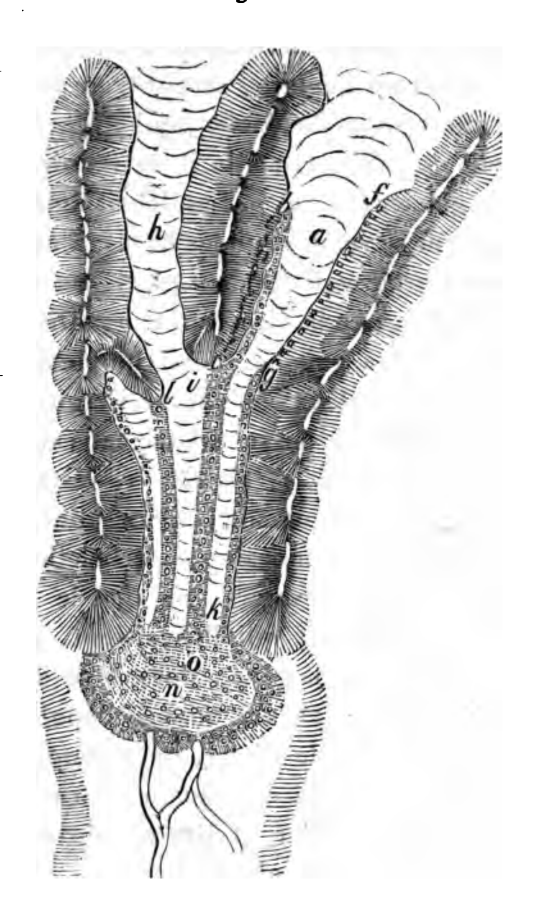
sur son dos ou sur la glace elle-même. Leur direction est constamment dans le sens de la pente ou de la longueur du glacier, de manière qu'elles suivent la direction du mouvement principal. Elles ne se forment que sur des glaciers profondément et étroitement encaissés entre deux chaînons de montagnes. Mais dès que le vallon ou la gorge vient à s'élargir, ou bien, dès que le glacier atteint un bassin ou une vallée où il peut s'étendre latéralement, les moraines superficielles disparaissent promptement par une sorte de dislocation de l'entassement des débris qui finissent ainsi par s'éparpiller sur le dos du glacier. Il en résulte qu'on ne rencontre jamais de bandes sur des glaciers qui occupent des plateaux, ou des pentes non encaissées par des rochers; en d'autres termes, les moraines superficielles n'existent que dans les localités où les glaciers sont gênés dans leur mouvement latéral.

§. 21.

MODE DE FORMATION DES MORAINES SUPERFICIELLES.

Voici maintenant l'explication de la manière dont les bandes ou moraines superficielles se forment et se maintiennent.

Fig. XII.



Soit *a* (Fig. XII.), le plan d'un glacier qui de *b* à *c* se trouve bordé par une pente trop rapide pour

que les débris qu'il charrie et rejette sur ses bords, puissent s'y entasser, comme cela a eu lieu sur le bord opposé, où il a déposé la moraine *f, g*. Par conséquent les débris, le long de l'escarpement *b c*, étant restés sur la glace, seront transportés en *c* par le mouvement du glacier, qui y rencontrera la branche *h*, avec laquelle il se réunira pour former le glacier *i, k, o, n*. Les débris amenés en *c*, ne peuvent se rendre sur les bords, à cause du mouvement progressif des deux glaciers *a* et *h*; ils doivent donc suivre la direction *c, o*, sans dévier ni à droite, ni à gauche, aussi longtemps que les montagnes des deux côtés empêcheront le glacier de s'élargir ou de se dilater latéralement. Dans tout ce trajet *c, o*, les débris, restant entassés en forme de digue sur la glace, donneront lieu à une bande ou moraine superficielle. Mais dès que le vallon s'évasera, ou que le glacier quittera les montagnes qui l'encaissent, et n'éprouvera ainsi plus de gêne, alors il se dilatera latéralement; les matériaux amenés depuis c, et accumulés en forme de digue, ne resteront plus réunis; la moraine se disloquera, et ces débris finiront par s'éparpiller et par se répandre en éventail *n* sur le dos du glacier.

On conçoit aisément que la moraine *c, o*, serait plus grande si le glacier *h* amenait aussi des débris en *c*, et que son volume augmenterait encore,

si le point de jonction *c*, des deux glaciers *a* et *h* était dominé par de vastes rochers sujets à s'ébouler.

C'est le cas par exemple à la *Perrière*, où le glacier du Taleffre se joint à celui du Tacul pour former la Mer de glace ; à *l'Abschwung*, où le glacier de Finsteraar se réunit à celui de Lauteraar, etc [1].

Le nombre des bandes s'accroîtra avec le nombre des branches de glacier, pourvu que celles-ci offrent les conditions que nous venons d'indiquer. Enfin, des rochers dominant assez un glacier pour que les éboulements qui s'en détachent, tombent un peu en avant, peuvent également donner lieu à des moraines superficielles. La Fig. XII. présente ce cas en *l*. Le Glacier de Gorner offre fréquemment cet accident [2].

[1] La planche 14 de l'atlas de Mr Agassiz représente une portion de la grande moraine superficielle formée par la réunion des glaciers de Finsteraar et de Lauteraar. La montagne d'Abschwung que l'on voit, au point de jonction des deux glaciers, couverte de neige, ne l'est pas pendant l'été, comme l'observe aussi Mr Agassiz pag. 339.

[2] Le Glacier de Gorner, formé par la réunion des glaciers qui descendent du Mont-Rose, du Lyskamm, et du Breithorn du côté du Valais, est sans contredit l'un des plus appropriés à l'étude des glaciers en général, et particulièrement à celle des moraines superficielles. Parmi les sept ou huit moraines de cette espèce alignées sur sa surface, la plupart présentant une régularité, ou pour ainsi dire, une netteté vraiment surprenante, il y en a une qui se fait remarquer au premier abord par sa configuration particulière. Au lieu de présenter une trainée de débris plus ou moins réunis, ou une accu-

§. 22.

PIÉDESTAL DES MORAINES SUPERFICIELLES.

Les moraines superficielles, lorsqu'elles acquièrent une épaisseur un peu considérable, c'est-à-dire, de 8 à 10 pieds, ne reposent plus im-

mulation en forme de digue, elle offre une file très-régulière de tertres ou de petits monticules, à peu près coniques, de grandeurs différentes et assez rapprochés pour qu'ils se touchent par leur base. Cette moraine est occasionnée par la réunion du glacier de Schwærzi avec celui de Kleintriftig, qui descendent tous les deux du Breithorn et viennent aboutir à angle droit au grand glacier de Gorner. La réunion a lieu à l'extrémité d'une énorme arête de rocher qui, en forme de contrefort ou d'arc-boutant, descend directement de la crête du Breithorn jusqu'au bord du glacier de Gorner, et qui sépare ainsi le glacier de Schwærzi de celui de Kleintriftig. Cette arête se termine à son extrémité inférieure par un rocher fort élevé, étroit et taillé presqu'à pic. La roche est une serpentine fortement fissurée, ce qui fait que tous les printemps le dégel y donne lieu à des éboulements qui, vu le peu de largeur du rocher, s'accumulent tous sur un seul point et forment ainsi un petit monticule. Le mouvement progressif du glacier durant l'été, éloigne le tertre du pied du rocher. Au retour du printemps, un nouvel éboulement produit un nouveau monticule séparé du précédent par un espace dont la longueur dépend de la quantité de débris éboulés et de la distance où le mouvement du glacier a fait avancer le tertre formé l'année précédente. Voilà selon nous, la seule manière de se rendre compte de la configuration remarquable de cette moraine. Nous devons encore ajouter qu'on se tromperait si l'on croyait que ces tertres sont en entier composés de débris. Il n'en est point ainsi : Mr Venetz m'a dit s'être assuré que l'intérieur de ces monticules n'est que de la glace. En effet, il ne peut pas non plus en être autrement, et en voici la raison : la portion de la glace couverte par l'éboulement se trouve beaucoup mieux abritée contre l'air et le soleil que la glace nue ou seulement peu couverte. Par conséquent, elle

médiatement sur la surface du glacier, mais sur une sorte de piédestal ou de soubassement de glace,

se dilatera et soulèvera avec elle les débris qui la couvrent de la manière dont nous allons l'exposer dans le paragraphe suivant (§. 22).

Depuis la rédaction de cette note, j'ai reçu de l'obligeance amicale de l'auteur, les *Naturschilderungen*, *Sittenzüge und wissenschaftliche Bemerkungen aus den höchsten Schweizer-Alpen*, *besonders in Sud-Wallis und Graubünden, von Ch. M. Engelhardt. Bâle* 1840, ouvrage accompagné d'un atlas renfermant la carte topographique et géologique des vallées de Saint Nicolas et de Saas, et cinq vues prises dans les montagnes d'Hérens, de Zermatt et du Rhin-supérieur. Ces vues sont toutes d'une grande exactitude, et l'exécution lithographique par Mr Müller ne laisse rien à désirer. La planche qui représente le Mont-Rose (du côté du Valais) et le glacier de Gorner, rend très-bien la moraine que nous venons de mentionner, ainsi que l'arête de rochers d'où se détachent les éboulements.

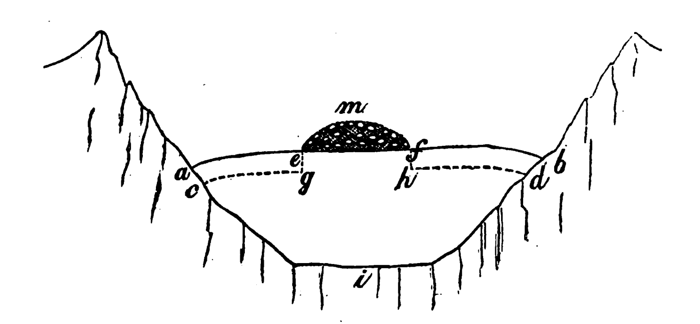
L'ouvrage de Mr Engelhardt fait connaître une contrée qui, sous tous les rapports est une des plus intéressantes non seulement du Valais, mais de toutes les Alpes de la Suisse, et qui néanmoins, rarement visitée jusqu'à présent, est peu connue. Le manque d'une description détaillée de cette contrée laissait une lacune fâcheuse dans l'histoire des Alpes. Mr Engelhardt s'était proposé de la combler, et nous trouvons qu'il s'est bien acquitté de cette tâche difficile. Ses descriptions sont exactes; on pourrait peut-être les trouver quelquefois un peu trop détaillées, ce que, du reste, on pardonne avec plaisir à un livre qui en même temps doit servir de guide aux voyageurs. Et certainement, l'ouvrage de Mr Engelhardt sera désormais le guide indispensable pour quiconque voudra visiter ces étonnantes montagnes.

Ce savant a appliqué la théorie des soulèvements et des éruptions plutonniennes aux montagnes de cette portion de la chaîne méridionale des Alpes. A en juger d'après ce que nous avons vu nous-même de ces contrées, nous trouvons que les faits observés par Mr Engelhardt sont exposés avec beaucoup d'exactitude. C'est donc un ouvrage qui intéressera non seulement les géologues, mais toutes les personnes qui désirent connaître les Alpes, leurs scènes sublimes, leurs productions et les populations qui les habitent.

Les Planches 1 et 2 de l'atlas de Mr Agassiz font égalcment voir les diverses moraines superficielles du glacier de Gorner.

qu'aux glaciers de Zmutt et de la Valsorey, nous avons vu s'élever jusqu'à 10 pieds, et Mr de Saussure jusqu'à 20 pieds au-dessus de la surface du glacier. (Voyages dans les Alpes §. 536).

Fig. XIII.

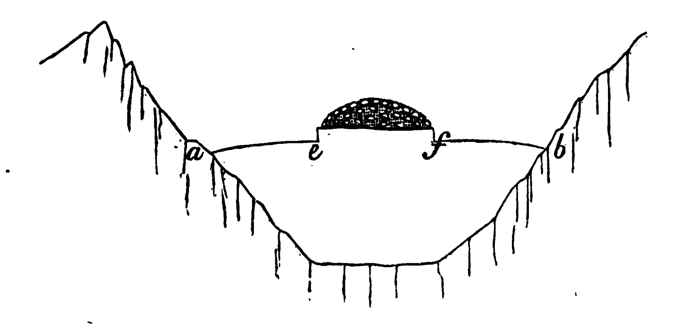


Soit Fig. XIII, la coupe transversale d'une moraine superficielle *m*, et *a*, *i*, *b* le profil du glacier sur lequel elle est entassée.

Les causes qui durant l'été agissent d'une manière destructive sur le glacier, soit par voie de fonte, soit par évaporation, n'auront pu étendre leur action sur la portion *ef* recouverte par la moraine, et préservée du soleil, de l'air et des pluies par la grande épaisseur du dépôt. Les portions nues *a e* et *f b* auront seules subi l'effet de ces agents destructeurs. Supposons que cette action eût été assez puissante pour fondre et détruire la

glace jusqu'aux lignes ponctuées *c g* et *h d*; ces dernières seraient devenues la surface du glacier, et la portion abritée *e f*, ferait saillie, et formerait sous la moraine *m* le socle ou soubassement *e g h f*. Si le glacier avait été stationnaire, c'est-à-dire que l'effet de la fonte et de l'évaporation eût été contrebalancé par celui de l'expansion (§. 11), son épaisseur n'aurait éprouvé aucune diminution; sa surface à la fin de l'été aurait encore coïncidé avec les lignes *a e* et *f b*; mais la portion couverte *e f*, n'ayant subi que l'action de la dilatation, et non celle de la chaleur, se serait élevée au-dessus de la surface *a e f b* comme nous l'avons indiqué dans la Fig. XIV.

Fig. XIV.



Dès que les moraines superficielles se disloquent, les soubassements disparaissent, parce que les

débris dispersés ne pouvant plus garantir ces socles de la chaleur et des pluies, ceux-ci ne tardent pas à se fondre.

§. 23.

TABLES DE GLACIERS.

On rencontre quelquefois sur les glaciers de très-gros blocs de roche, supportés comme les moraines superficielles par un socle de glace, qui a aussi la même origine. On remarque seulement que le socle est entouré d'une espèce de fossé creusé dans la glace, soit par la réverbération du soleil, soit par les eaux qui, pendant les pluies et la fonte des neiges, dégouttent des bords du bloc. Dès qu'un socle a acquis une certaine hauteur, qui dépend de la grosseur du bloc, le soleil et les vents l'entament et l'amincissent en fondant la glace du côté où ils l'atteignent. Il arrive alors que le bloc, n'étant plus suffisamment appuyé, se met à pencher de ce côté, et finit par retomber sur la surface du glacier, où, donnant lieu à un nouveau socle, il est derechef soulevé. Ces blocs supportés par un socle de glace, s'appellent *Tables* ou *Champignons* de *glaciers*[1]. Ceux du glacier de

[1] Mr Agassiz essaie d'expliquer les soubassements ou socles de glace soit des moraines superficielles (Etudes etc. pag. 114 et suivantes), soit des tables de

l'Aar sont connus depuis longtemps par les dessins qui en ont été publiés. Le plus beau champignon de ce genre que j'aie vu, se trouvait en 1815 sur le glacier de Zmutt près de Zermatt. C'était un bloc de schiste talqueux de 18 pieds de longueur sur 13 pieds de largeur, et d'environ 8 pieds d'épaisseur, supporté par un socle de 7 pieds de hauteur.

§. 24.

ALLUVIUM GLACIAIRE.

Outre les moraines et les fonds de glaciers (Gletscherböden), les glaciers forment encore une troisième sorte de dépôts, qui méritent de nous

glaciers (pag. 128), uniquement par l'effet de la fonte et de l'évaporation de la portion découverte du glacier, sans avoir égard à la dilatation de la glace par la congélation de l'eau absorbée. Cette explication est insuffisante. En effet, si la fusion de la portion découverte de la glace produisait seule cet accident, on ne devrait le rencontrer que sur des glaciers qui vont en diminuant, ce qui cependant n'a nullement lieu; car nous avons vu cet été de beaux socles de glace sur le glacier de Gorner qui n'allait rien moins qu'en diminuant. Si la fonte superficielle produisait *seule* ces sortes de soubassements, qu'arriverait-il dans le cas où un bloc renouvelle vingt fois son socle avant d'atteindre le pied du glacier, et que le socle acquiert chaque fois 5 pieds de hauteur? Dans ce cas, l'épaisseur du glacier aurait dû diminuer de 100 pieds, diminution que de nos jours aucun glacier n'a éprouvée dans les Alpes; en revanche, il peut très-bien arriver que sur des glaciers très-longs, comme le sont par exemple ceux de la Mer de glace, de Viesch, de Gorner, de Finelen, de Zmutt, etc. un bloc renouvelle plus de 20 fois son socle avant d'arriver au pied du glacier.

arrêter un instant, parce qu'ils jouent un rôle important dans l'histoire du terrain erratique. Je veux parler de ces dépôts qui se forment, lorsque les débris de roches charriés par les glaciers, au lieu de s'accumuler sur un terrain sec, tombent dans des amas ou réservoirs d'eau.

Fig. XV.

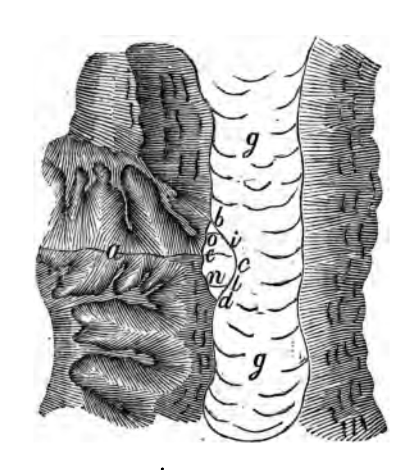
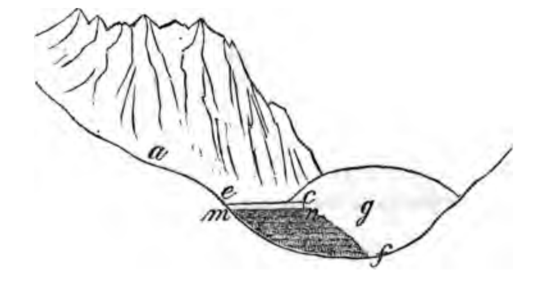


Fig. XVI.



Soit Fig. XV, le plan, et Fig. XVI, le profil d'un glacier *g*, qui passant devant le vallon *a*, le barre de manière à en faire refluer le torrent et à former ainsi le petit lac *b c d e*, Fig. XV, et *e c f*, Fig. XVI. Celui-ci, en rongeant la glace, s'étendra plus ou moins sous le glacier, comme on le voit en *c*, Fig. XVI. Les débris de roche amenés par le glacier tomberont dans cette eau, et se mêleront avec ceux que charrie, dans ses crues, le torrent du vallon. Ils se déposeront ensemble, affectant une stratification plus ou moins distincte, *m n f*, Fig. XVI. Si les eaux du petit lac parviennent à se faire jour, soit en perçant par-dessous le glacier, soit par la retraite de ce dernier, elles entraîneront la plus grande partie de ce dépôt, ne laissant subsister que les portions *b o i* et *n l d*, qui se trouvent plus ou moins à l'abri du courant.

Ces atterrissements se distinguent des alluvions ordinaires, principalement par la forme des fragments de roches, qui, en général, ne sont pas aussi arrondis ni aussi polis que les galets et les sables qui constituent l'alluvium ou le diluvium des torrents ou des rivières. On trouve près des glaciers beaucoup de ces débris qui ont parfaitement conservé leurs angles et leurs arêtes, et qui sont fréquemment mêlés de blocs, soit anguleux soit arrondis, dont les dimensions contrastent singulièrement avec celles des autres débris. En

outre, ces matériaux sont beaucoup plus mêlés de terre et de limon que les dépôts alluviens ordinaires; enfin, les strates ne conservent guère de régularité sur une étendue tant soit peu grande.

Lorsque le torrent, barré par le glacier, éprouve une crue, il amènera à la fois beaucoup de galets et de gravier, qu'il dépose dans la mare. Cette couche de matériaux sera ensuite recouverte par les fragments de roche qui tombent du glacier. Ce fait explique le mode de formation des dépôts qui offrent une alternative de couches de débris roulés, arrondis, et évidemment charriés par l'eau, avec d'autres qui, étant transportés par le glacier, sont anguleux et bien conservés. La *gouille* de la Valsorey, le lac de Mörel près du glacier d'Aletsch, celui de Gorner (enclavé entre le glacier du même nom et celui de Blatio), celui de l'Eau Froide au Simplon etc., sont des amas d'eau occasionnés par des barrages de glaciers. Il y a aussi des amas d'eau qui sont retenus par des moraines, et dans lesquels les matériaux amenés par les eaux se déposent par couches. Le lac le plus considérable dans ce genre est celui de Matmark dans la vallée de Saas; il est occasionné par la moraine du glacier de Hohelerch, ou d'Allalein, qui fait refluer la Viège. L'an dernier, j'ai trouvé trois de ces petits lacs au pied du glacier des Bois. Ils provenaient des eaux du glacier, qu'une vieille moraine

empêchait de s'écouler. Les galets, le sable et le limon que ces eaux charriaient, s'y déposaient également par couches. Les lacs de Champé, au-dessus d'Orsières, et de Combal, dans l'Allée-blanche, sont retenus par d'anciennes moraines. Ces sortes de dépôts stratifiés se rencontrent fréquemment à l'entrée de plusieurs vallées qui débouchent dans la grande vallée du Rhône, et cela dans des localités où le glacier qui a servi de barre ou de digue, a entièrement disparu. Nous reviendrons sur ce sujet, lorsque nous traiterons du terrain erratique (§. 49).

Il importe de désigner par un nom particulier ces sortes d'alluviums ou de diluviums, jusqu'à présent constamment confondus avec les diluviums ou les alluviums ordinaires. Je les distinguerai donc par le nom de *glaciaire*, appelant ces dépôts stratifiés, *alluvium glaciaire*, lorsque le glacier qui les a produits existe encore, et *diluvium glaciaire*, lorsqu'il a disparu depuis longtemps.

Je dois encore faire remarquer qu'il existe, au pied de la plupart des glaciers, des dépôts de transport plus ou moins stratifiés, produits par les torrents qui s'échappent de ces masses de glace, et qui entraînent les débris de roches charriés par les glaciers, et les déposent plus loin. Ces alluvions sont quelquefois fort considérables, comme par exemple près du glacier de Gorner (à Zer-

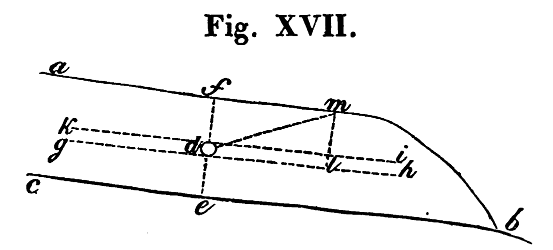
matt), près de celui d'Argentière, de celui des Bois, etc.

§. 25.

CAUSE POUR LAQUELLE LES CORPS ÉTRANGERS ENSEVELIS DANS LA GLACE REVIENNENT A LA SURFACE.

Lorsque nous avons parlé (§. 10) de la grande pureté de la glace des glaciers, nous avons fait observer qu'elle provient de ce que les corps étrangers arrivés dans leur intérieur n'y restent pas, mais finissent tous par revenir à la surface. Il serait absurde d'attribuer ce fait tout simple à une force particulière, en quelque sorte occulte, qui, agissant sur ces corps, leur ferait percer et traverser la glace solide pour arriver ainsi au jour. Cette réapparition des corps ensevelis n'est autre chose que l'effet de l'expansion des glaciers, combiné avec celui de la fonte superficielle [1].

Fig. XVII.



[1] Mr Venetz a le premier expliqué ce fait curieux dans un mémoire présenté en 1816 à la Société Helvétique des sciences naturelles, réunie à Berne. Mon frère Toussaint de Charpentier a fait connaître cette explication dans son mémoire » *Sur les glaciers* » inséré dans les annales de Gilbert 1819 pag. 388.

Soit Fig. XVII, la coupe longitudinale d'une portion de glacier $a\ b\ c$, et d un bloc de roche arrivé dans son intérieur par une cause quelconque. Supposons que le glacier se trouve à l'état stationnaire, ou en d'autres termes, que l'expansion qu'il éprouve par la congélation de l'eau absorbée, remplace constamment la quantité de glace qui lui est enlevée par la fonte et par l'évaporation. Si cette dilatation n'agissait que dans le sens de l'épaisseur $e\ f$, la glace, à mesure qu'elle se fondrait à la surface $a\ b$, serait remplacée par celle qui est immédiatement au-dessous, laquelle à son tour serait remplacée par celle qui lui succède et ainsi de suite. Il arriverait donc un moment où la tranche $k\ i\ g\ h$ parviendrait aussi à la surface, et avec elle le bloc d, qui s'y trouve engagé et qui atteindrait la surface en f, si, comme nous l'avons supposé, la dilatation de la glace n'avait eu lieu que du bas en haut parallèlement à la ligne $e\ f$.

Mais le bloc pendant un temps x, qu'il aurait mis pour arriver en f, s'est trouvé aussi sous l'influence de l'expansion qui a agi dans le sens de la longueur du glacier, parallèlement à la direction des lignes $k\ i$ et $g\ h$. S'il n'avait obéi qu'à ce dernier mouvement, il serait parvenu, pendant le temps x, supposons en l; mais comme il a été sous l'influence simultanée des deux mouvements, l'un le dirigeant vers f, et l'autre vers l, il aura

dû suivre la diagonale $d\ m$, et atteindre en m à la furface au bout du dit temps x.

Le temps x sera plus long si le glacier va en augmentant, et sera au contraire plus court, s'il va en diminuant. Ce qui dans le cas présent arrive au bloc d, arrivera également à tous les corps étrangers ensevelis dans une partie quelconque du glacier. Cela nous explique comment les débris de roches mêlés avec les neiges des hauts-névés, parviennent tous à la surface, dès que le névé se change en glacier et devient, par ce fait même, susceptible d'expansion. Nous concevons très-bien que des blocs tombés jusques au lit ou fond du glacier reviennent également à la surface, pourvu qu'ils se trouvent placés de manière que la glace puisse, sur un ou sur plusieurs points s'insinuer, dessous [1].

[1] L'explication que nous venons de donner de la cause pour laquelle des corps enselevis dans la glace reviennent à la surface, explication que l'on doit, nous le répétons, à Mr Venetz, est si simple et si claire, qu'elle a été approuvée par Mr Agassiz ; car il dit dans ses *Etudes sur les glaciers* pag. 13. » Antérieu- » rement » (aux observations sur les anciennes moraines) » Mr Venetz avait » déjà donné une explication *très-satisfaisante* du rejet des corps étrangers » tombés dans les fentes et les crevasses des glaciers. » Cependant Mr Agassiz propose une autre explication relativement au soi-disant rejet des corps étrangers par les *névés*. Il dit pag. 105 : » Il est inutile de rappeler que les blocs » ne peuvent s'enfoncer que dans *le névé ;* ceux qui tombent sur le glacier » proprement dit, restent à sa surface, ou, s'ils disparaissent, ce n'est que » lorsqu'ils tombent dans les crevasses. Dans sa partie supérieure, *là où il est* » *encore à l'état de névé*, le glacier n'a pas assez de consistance pour maintenir

§. 26.

EFFET DES CORPS ORGANIQUES SUR LA GLACE.

Lorsque des insectes viennent à périr sur un glacier, au lieu de rester à la surface, ils s'enfoncent peu à peu dans la glace en la fondant par

» les débris de rochers à sa surface ; ceux-ci s'enfoncent par conséquent dans
» cette glace incohérente et grumeleuse. Cependant la masse entière du glacier
» chemine dans le sens de sa pente et donne ainsi de plus en plus prise à l'ac-
» tion dissolvante des agens atmosphériques et de la chaleur du soleil. L'eau
» qui résulte de la fonte de la partie superficielle, s'infiltre dans la masse, et
» lorsqu'elle rencontre un bloc dans *l'intérieur du névé*, elle coule le long de
» ses flancs et imbibe la masse environnante. Lorsque survient ensuite le froid de
» la nuit, cette eau qui vient de s'infiltrer *dans la masse grumeleuse du névé*
» se congèle et par là même se dilate. Il en résulte une pression qui s'exerce
» contre le bloc en question et le force à faire place à cette glace naissante. Le
» bloc s'élève ainsi vers la surface, grâce à la résistance moins considérable des
» couches supérieures incohérentes et grumeleuses, comparée à la résistance
» des couches inférieures qui viennent de se transformer en glace compacte
» par l'effet de l'eau infiltrée. De très-gros blocs peuvent ainsi être ramenés
» à la surface. Cette ascension s'opère plus facilement à l'égard des fragments
» anguleux que lorsque ce sont de grandes dalles, et cela est facile à com-
» prendre : les blocs anguleux sont poussés à la surface par l'action combinée
» de la pression latérale et de la pression de bas en haut ; les dalles, au con-
» traire, à moins qu'elles ne reposent sur leur tranche, ne reçoivent que
» l'impulsion de bas en haut et arrivent ainsi plus lentement à la surface. »

Cette explication, nous l'avouons franchement, ne nous satisfait pas, parce que nous ne la trouvons pas claire. Ainsi par exemple, nous ne concevons pas bien comment l'eau qui coule le long des flancs du bloc, et qui imbibe la masse de glace grumeleuse environnante, pourrait en se congelant, déplacer le bloc enseveli et chargé de tout le poids de la glace qui le recouvre. Il nous semble

l'action de la chaleur qui leur est communiquée par le soleil, et qui est d'autant plus considérable,

au contraire que cette congélation, au lieu de soulever le bloc, devrait plutôt se borner à comprimer la glace incohérente qui l'entoure. Mais toute cette explication nous paraît bien inutile, parce qu'elle s'applique à un fait imaginaire, à un fait qui n'existe pas. En effet, les névés ne rejettent pas les blocs qui y sont ensevelis, comme Mr Agassiz le remarque très-bien lui-même, lorsqu'il dit pag. 45 : « il n'y a que la glace compacte qui soit susceptible de pousser les » blocs à la surface ; *les névés n'en sont pas capables* à cause de leur *nature in-* » *cohérente.* » Le passage que nous venons de transcrire de l'ouvrage de Mr Agassiz, quoique énonçant un fait très-vrai, peut néanmoins donner lieu à une erreur trop grave pour que nous puissions nous dispenser de la relever, car il fait naître l'idée que le *rejet* des corps étrangers, pour nous servir de cette expression reçue, mais peu exacte, trouve sa cause dans la *nature* de la glace. Cette idée est erronée, parce que ce n'est pas du tout à cause de la nature incohérente de la glace des hauts-névés que les débris qui s'y trouvent ensevelis, ne reviennent pas à la surface, mais c'est parce que les neiges annuelles n'y fondent pas complètement. Quant aux bas névés ils ne rejettent pas les débris ensevelis, parce qu'ils éprouvent une fusion à leur face inférieure, c'est-à-dire à la face par la quelle ils reposent sur le terrain, fusion qui empêche que les couches inférieures ne deviennent surface du névé. Cette fonte est opérée par les eaux qui, vu le peu d'épaisseur de la neige, la traversent, et par celles qui s'écoulent des pentes du vallon dans lequel un bas-névé est toujours situé ; ces dernières, en pénétrant dessous, contribuent à augmenter cette fonte. C'est par cette cause que la quantité d'eau qui s'échappe d'un bas-névé, est comparativement au volume de ce dernier, beaucoup plus considérable que celle qui est fournie par un glacier, où cette fusion par la face inférieure est extrêmement limitée (§. 10). Enfin quant aux glaciers proprement dits, les corps étrangers qui y sont ensevelis, reparaissent au jour, non pas par la raison que leur glace est « compacte » ou, pour s'exprimer plus exactement, *grenue*, mais à cause de la fonte complète des neiges annuelles, et de celle que les glaciers éprouvent eux-mêmes à leur superficie durant la saison chaude. Dire que la glace « *pousse* » les blocs dehors, est une expression qui peut également induire en erreur, parce que le mot *pousser* pourrait faire croire que le bloc s'élève à la surface en quittant ou en abondonnant peu à

que la couleur de l'animal est plus foncée. Mais dès que ces êtres sont arrivés à une profondeur de quelques pouces, où les rayons du soleil ne peuvent plus les atteindre, ils cessent complètement de descendre.

La même chose arrive également à des feuilles, à des morceaux de bois, et même à des pierres plates minces et de couleur sombre, susceptibles de se réchauffer par l'action du soleil. Mais nous le répétons, ces corps ne s'enfoncent guère au-delà du point où ils commencent à être constamment à l'ombre. Si le trou qui s'est formé par la fonte de la glace, vient à se fermer, et que le corps n'ait pas été décomposé, celui-ci reparaîtra à la surface (§. 25); là, éprouvant de nouveau l'action du soleil, il s'enfoncera derechef; en continuant ainsi, il finira par arriver au pied du glacier, après avoir suivi une marche alternativement descendante et ascendante. Nous n'aurions pas même

peu la glace avec la quelle il a été successivement en contact. Mais nous avons fait voir que cet abandon, ce changement de place par rapport à la glace environnante n'a pas lieu. En effet, le bloc *d* (Fig. XVII) ne quittera la glace qui l'entoure, que lorsque celle-ci viendra à se fondre. Cela n'arrivera que lorsque la glace comprise entre les lignes *a m* et *k i* sera fondue, et que la ligne *k i* [le glacier étant supposé à l'état stationnaire (§. 11)] coïncidera avec la ligne *a m*, ou en d'autres termes, lorsque la ligne *k i* arrivera à son tour dans le plan de la surface du glacier. Elle y parviendra par suite de la fonte de la portion de glace comprise entre les lignes *a m* et *k i*, et par suite de la dilatation de la glace comprise entre les lignes *k i* et *c b*.

fait mention de ce phénomène si naturel et si simple, si Mr Hugi n'en avait donné une autre explication, l'attribuant à une *désoxidation de la glace* et à une *décomposition du glacier* dans ses parties constituantes[1].

§. 27.

VEINES DE DÉBRIS DE ROCHES.

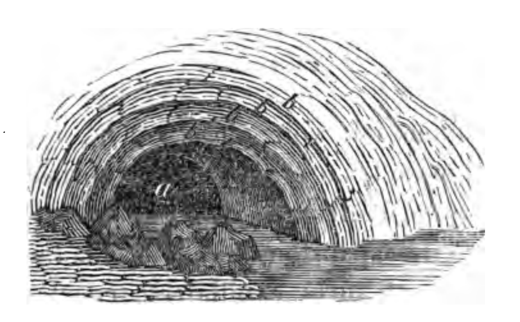
Dans le voisinage des hauts-névés, les glaciers présentent assez souvent dans leur intérieur de la terre, du sable, du gravier et des pierres, provenant tous des éboulements tombés sur le névé et ensevelis par les neiges qui les ont successivement couverts. Mais à mesure que le névé se change en glacier, ces débris se rendent à la surface comme nous l'avons expliqué plus haut (§25).

On rencontre fréquemment aussi des veines minces seulement de terre et de sable à une grande distance des névés, et même à l'extrémité infé-

[1] Mr. Hugi dit : pag. 364. « Lorsque le corps cellulaire de l'insecte vient en » contact immédiat avec la glace, il lui soustrait une partie de son oxigène, » et, lui enlevant par l'aspiration, l'un de ses élémens principaux, il décom- » pose le glacier dans ses parties constituantes. — Ce que l'insecte vivant opère » par la respiration et par la vitalité, l'insecte mort et la feuille l'opèrent par » une action dissolvante, car la mort tout aussi bien que la vie, est une oxida- » tion, une envie immodérée d'oxigène. » Comment peut-on être à tel point ennemi des idées claires et nettes ! !

rieure des glaciers. Mais ces veines ont une autre origine; elles proviennent des sables et des terres que les petits filets d'eau qui coulent à la surface des glaciers pendant le jour en été, ont amenés avec eux, et déposés dans des crevasses, peu inclinées. Si ces dernières viennent à se fermer et à se rapprocher davantage de l'horizontale, par suite du tassement et de la dilatation inégale de la glace, et si plusieurs crevasses parallèles et peu distantes ont éprouvé les mêmes accidents, la glace offre une sorte de stratification, qui néanmoins n'est qu'apparente.

Fig. XVIII.



Les torrents qui s'échappent du pied des glaciers, se creusent quelquefois une issue *a*, Fig. XVIII, en forme de grotte cintrée. La voûte de cette ouverture est toujours surmontée et encadrée par

des arceaux de glace *b b b* qui sont concentriques, parallèles à la courbure de la voûte, et séparés les uns des autres par une fissure. Ces arceaux ne peuvent être envisagés comme le résultat d'une véritable stratification. Ils sont dûs uniquement à un affaissement et à une séparation de la glace, qui, ne se trouvant plus suffisamment appuyée, se détache peu à peu, par son propre poids, autour de l'ouverture, et finit par se précipiter dans le torrent. La forme régulière de ces croutes ou portions séparées de glace, provient de la facilité avec laquelle ce corps est susceptible de se fendre en tous sens.

§. 28.

CREVASSES.

Nous avons fait voir plus haut (§. 7), que la congélation de l'eau inégalement absorbée par un glacier, y produit une expansion pareillement inégale. Cette expansion donne lieu à la formation de fêlures ou fissures capillaires, courtes, irrégulières et se croisant en tous sens et en si grand nombre, qu'elles deviennent la cause de la structure grenue de la glace. Mais cette dilatation ne se borne pas uniquement à produire de ces petites fêlures; elle occasionne aussi des fentes plus

grandes, plus régulières et peut être quelquefois assez profondes pour atteindre à la face inférieure du glacier.

On commettrait cependant une grave erreur si l'on attribuait à l'effet de l'expansion seule, toutes les crevasses qui coupent les glaciers et qui les rendent souvent si difficiles et si dangereux à parcourir. Beaucoup d'entr'elles, peut être la plupart, sont dues au concours de diverses circonstances, qui tendent toutes à provoquer la rupture de la glace et à favoriser la formation des crevasses. Le degré de pente du lit des glaciers, les inégalités que ce même lit peut présenter, les excavations que les eaux qui coulent sous les glaciers peuvent y faire, le tassement de la glace, sa grande fragilité, etc. voilà, avec la dilatation et le mouvement, les causes principales du phénomène qui nous occupe. Le degré de pente du lit d'un glacier exerce la plus grande influence sur le nombre et l'étendue des crevasses. Plus cette pente sera rapide, plus le glacier sera crevassé. La raison en est facile à comprendre. Supposons qu'il se forme au pied de la pente, une ou plusieurs crevasses transversales : la glace qui borde la crevasse du côté d'amont, n'étant plus suffisamment appuyée, doit peu à peu céder à son propre poids, et provoquer au-dessus d'elle une nouvelle fente, qui, à son tour, en occasionnera une troisième,

et ainsi de suite toujours en remontant, jusqu'à ce que la pente devienne assez douce pour que la glace puisse se soutenir sur elle-même par son aplomb.

Pour bien comprendre ce mode de formation des crevasses, il faut se rappeler que la glace des glaciers n'est point compacte comme celle des lacs et des rivières; mais qu'elle est grenue, et que ces grains sont tous séparés les uns des autres par des fissures capillaires, qui nuisent à la solidité de la masse.

L'instant où des fentes se forment, est très-souvent accompagné d'un craquement, qu'on peut quelquefois comparer à un coup de canon. La largeur des fentes naissantes atteint rarement 5 lignes, et ne dépasse jamais cette mesure. Mais si les fentes communiquent avec la face inférieure du glacier, soit directement, soit par l'intermédiaire d'autres crevasses, elles ne tarderont pas à s'élargir, par ce que l'air, y établissant un courant, augmentera promptement leur largeur par la fonte et l'évaporation de la glace. Les eaux qui coulent le long des parois, produisent le même effet.

La largeur des crevasses est très-variable. Il y en a où elle n'est que de quelques lignes, tandis qu'il y en a d'autres où elle atteint dix pieds et même au-delà. Mais toutes les crevasses se retré-

cissent aussi bien vers leurs deux extrémités que dans la profondeur[1].

Il paraît que la plupart communiquent d'une manière quelconque avec la face inférieure du glacier; car, lorsque cette communication n'a pas lieu, les crevasses se remplissent d'eau pendant l'été, et cependant il n'est pas très-commun d'en rencontrer qui présentent cet accident (§. 30).

Leur direction ordinaire est à peu près dans le sens de la largeur du glacier; mais on remarque que celles qui partent des bords latéraux, s'inclinent presque toujours du côté d'amont c'est-à-dire vers l'extrémité supérieure. Nous attribuons ce biais à l'expansion inégale du glacier, qui doit se dilater moins dans le milieu que le long de ses bords, où la fonte est plus considérable à cause de la réverbération, ou, si l'on veut, à cause du calorique rayonnant des flancs des montagnes, des rochers, et des moraines qui le bordent. Par conséquent le glacier, y recevant plus d'eau, doit s'y dilater davantage, et son mouvement y doit être nécessairement plus considérable qu'au milieu,

[1] Mr. Hugi rapporte (*Alpenreisen* pag. 356) que les crevasses à la surface ou sur le dos du glacier ne se forment que de jour et pendant l'été, tandis que celles qui sont à la face inférieure du glacier, ne doivent s'ouvrir que de nuit et pendant l'hiver, et s'étendre en se rétrécissant du bas en haut. Je doute beaucoup que ce fait soit bien constaté ; s'il l'était, il serait vraiment inexplicable.

où ces agents calorifiques agissent plus faiblement. Je dois encore ajouter que je ne connais aucun exemple de glacier traversé dans toute sa largeur et dans toute son épaisseur par une seule et même crevasse. Si cet accident arrivait, l'expansion de la glace le ferait bientôt disparaître.

Les crevasses longitudinales ou parallèles à la longueur du glacier sont plus rares, et la plupart paraissent avoir été originairement des crevasses transversales, qui sous l'influence du mouvement inégal, ont peu à peu fléchi et pris une direction à peu près paralléle à celle du glacier. Lorsqu'elles présentent cette direction déjà en naissant, cela provient toujours des arêtes de rocher que la glace recouvre, et qui se dirigent dans ce sens[1]. On rencontre sur les bords des glaciers, principalement vers leur pied, de profonds sillons, parfaitement semblables à des crevasses, mais qui ne sont que des ravins creusés par les eaux pluviales. On les reconnaît par leur fond qui est creusé en rigole, et par leur direction, qui est toujours dans le sens de la plus forte pente. Le glacier du Rhône présente ce fait d'une manière très-remarquable.

[1] Le glacier de Corbassière dans la vallée de Bagnes, d'Argentière, de la Mer de glace etc., présentent des crevasses longitudinales, occasionnées par des arêtes de rochers ; car elles s'ouvrent toujours à la même place.

On observe fréquemment que la glace n'est pas en contact immédiat avec les rochers qui la bordent, mais qu'elle en est séparée par un vide, par une sorte de crevasse, qui, à son embouchure, présente une largeur très variable, mais qui dans la profondeur va promptement en diminuant. Ces vides n'atteignent le fond du glacier que dans les localités où des eaux plus ou moins abondantes suivent la pente du rocher, et fondent la glace à mesure que l'expansion tend à l'en approcher. Le renvoi ou la répercussion des vents chauds et la réverbération du soleil sont la principale cause de cet accident, qu'on rencontre dans toutes les localités où les glaciers sont bordés par des rochers taillés à pic et exposés au midi.

Enfin, lorsqu'un glacier ou un névé aboutit par son extrémité *supérieure* à une paroi de rochers, le tassement empêche le contact immédiat, et produit une large séparation entre le rocher et la glace. C'est un accident extrêmement commun; mais je ne connais aucun glacier où il se présente d'une manière plus frappante qu'à celui du Breithorn, au fond de la vallée de Lauterbrunnen, et à celui de la Rémouentza, près du glacier du Trient.

Nous avons déjà fait connaître plus haut (§. 9) que l'expansion des glaciers par la congélation de l'eau absorbée, a lieu pendant les nuits fraîches

de la belle saison, et probablement même de jour, si l'épaisseur de la glace est considérable. C'est donc aussi pendant ces mêmes nuits que se forment la plupart des fentes qui sont dues à la dilatation de la glace. Mais celles qui proviennent d'un tassement ou d'un affaissement de portions de glacier mal appuyées, peuvent se former en toute saison, et aussi bien de jour que de nuit, que la glace soit sous-minée par les eaux, ou qu'elle soit entre-coupée par des crevasses inclinées[1].

[1] C'est un fait très-connu des habitants des Alpes, que les plafonds ou voûtes des ouvertures par lesquelles les torrents s'échappent des glaciers, s'affaissent considérablement pendant l'hiver. Si par suite d'un hiver long et froid, le torrent vient à tarir, il n'est pas rare que non seulement l'ouverture, mais aussi le canal lui même se ferme par l'affaissement du plafond. Dans ce cas, au retour de la belle saison, les eaux se fraient un nouveau passage, quelque fois à une grande distance de l'ancien, et le conservent aussi longtemps qu'elles n'ont pu rouvrir l'autre. La belle grotte de la source de l'Arveyron, s'était entièrement fermée, il y a 12 ans, pendant l'hiver, de manière que, l'année suivante, nous vîmes encore en Juillet ce torrent sortir de dessous le glacier à une grande distance au-dessus de son issue ordinaire, et former une belle cascade de près de 300 pieds de chûte. Le canal d'écoulement des eaux du vaste glacier de Gorner, s'était entièrement fermé par un affaissement de la glace, pendant le long hiver de 1829 à 1830. Au printemps suivant, les eaux se firent jour beaucoup plus haut, et conservèrent pendant deux ans cette nouvelle issue. Le torrent du glacier de Tzezettaz dans la vallée de Bagnes, s'écoulait en 1815 du côté du bord droit, tandis qu'en 1820, son issue se trouvait près du bord gauche du glacier. Ces faits, auxquels nous pourrions en ajouter d'autres, prouvent que la glace est susceptible d'affaissement même pendant l'hiver.

Nous terminons ce paragraphe par la remarque que Mr Hugi paraît être en erreur, lorsqu'il dit (*Alpenreisen* pag. 359.) que les crevasses ne traversent jamais les moraines superficielles, ou, pour s'exprimer plus exactement, la glace qui les supporte. En effet, il suffit de visiter un glacier quelconque, pourvu qu'il offre de ces moraines, pour reconnaître aussitôt que ni ces accumulations, ni les tables ou champignons de glaciers n'exercent la plus légère influence sur la formation des crevasses, et que ces dernières s'ouvrent aussi bien dans la glace couverte de débris que dans celle qui ne l'est pas.

§. 29.

AIGUILLES DE GLACE.

Nous venons de faire observer que l'air chaud, le soleil, et l'eau, tant de pluie que de fonte, contribuent singulièrement à l'élargissement des crevasses. C'est encore à ces mêmes agents, combinés avec l'effet de la pente du sol, qu'il faut attribuer ces aiguilles ou pyramides de glace qu'on observe sur beaucoup de glaciers. C'est surtout sur le glacier des Bossons que ce phénomène excite l'admiration des voyageurs qui visitent la vallée de Chamounix. Ces aiguilles ne sont autre

chose que les cloisons qui séparent une multitude de larges crevasses, ou, pour ainsi dire, les murs mitoyens, rompus et disloqués par la dilatation et le tassement, et ensuite entamés, rongés et façonnés de la manière la plus variée et la plus bizarre par l'action du soleil, des pluies, de l'air et des vents chauds.

Au reste, le glacier des Bossons n'est pas le seul dans les Alpes qui offre de ces belles pyramides. On en rencontre également aux glaciers d'Argentière, du Miage, de la Brenva, du Giétroz, du Mont Durant, du Gorner, du Rhône, etc.; en un mot, on en rencontre partout où la pente et les inégalités du lit provoquent la rupture de la glace, et où les agents atmosphériques sont le plus actifs. C'est par cette raison que l'on ne trouve guère de ces aiguilles à de grandes élévations, où les pluies et l'air sont plus froids que dans des régions plus basses.

§. 30.

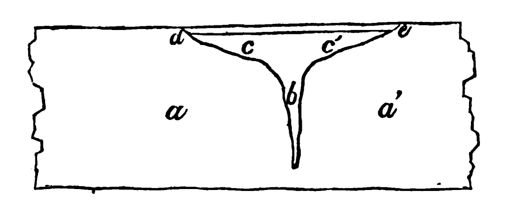
CREVASSES REMPLIES D'EAU.

Lorsqu'une crevasse n'atteint pas le fond du glacier, et qu'elle ne communique pas avec d'autres fentes qui établissent cette communication, elle finit par se remplir d'eau, et celle-ci doit né-

cessairement se congeler pendant l'hiver, et se convertir en un filon de glace compacte, semblable à celle des lacs et des rivières. Mais de pareils filons n'ont jamais été observés dans les glaciers, et la raison en est toute simple : la glace compacte de la crevasse se trouve sous l'influence de la glace grenue qui l'entoure ; par conséquent au retour de la chaleur, le mouvement inégal que cette dernière éprouve par la dilatation de l'eau absorbée, brisera l'autre, la fendillera, et de cette manière, la rendra grenue et parfaitement semblable à la glace qui forme le glacier, en sorte qu'il devient impossible de distinguer l'une de l'autre.

Lorsque l'eau remplit une crevasse jusqu'aux bords, ensorte que le soleil puisse l'atteindre, elle se réchauffe, fond la glace autour d'elle, et évase ainsi l'ouverture de la crevasse. En effet, le soleil n'élevant la température de l'eau qu'à la surface, la glace ne peut guère se fondre dans la profondeur ; l'eau réchauffée portera donc son action sur les bords, qui, par ce moyen, s'évaseront et prendront un fort talus, comme le fait voir la Fig. XIX.

Fig. XIX.



où *a*, *a'* présente la coupe verticale d'une portion de glacier, *b*, une crevasse, et *c*, *c'*, l'ouverture évasée par l'eau, qui s'élève jusqu'à la ligne *e d*. Quand ces crevasses viennent à se vider, elles offrent des espèces d'entonnoirs d'une forme ovale, qui ont leur grand diamètre dans le sens de la longueur de la crevasse. Le glacier de Gorner, près de Zermatt, présente fréquemment de ces entonnoirs tant vides que remplis, qu'on doit attribuer à l'épaisseur considérable de cette masse énorme de glace [1].

Du reste, ces sortes de petits amas d'eau, que nos montagnards appelent des *gouilles*, se rencontrent aussi sans qu'ils aient été occassionnés par

[1] Ces crevasses évasées ne sont pas aussi symétriquement disposées par lignes ni aussi régulièrement espacées, qu'elles sont présentées sur le planches 1 et 2 de l'Atlas de Mr Agassiz. Cet accident est mieux rendu dans une autre lithographie du massif du Mont-Rose qui fait partie de l'Atlas de Mr Engelhardt, et dont la belle exécution répond à l'exactitude du dessin.

quelque crevasse. Il suffit d'une simple dépression dans laquelle l'eau puisse se ramasser, pour produire cet accident.

§. 31.

LES CREVASSES NE SE REMPLISSENT PAS DE NEIGE.

Il y a des personnes qui s'imaginent que, durant l'hiver, les crevasses se remplissent complètement de neige. Mais c'est là une erreur : la neige ne les remplit jamais entièrement; elle ne fait que fermer ou plutôt boucher leur ouverture. Ces sortes de ponts ou couvertures de neige ne sont pas toujours assez épaisses pour supporter le poids d'un homme, et c'est pourquoi il est si dangereux de se hasarder sur des glaciers encore couverts de neige. — Des crevasses qui, au lieu d'être verticales, sont fortement inclinées, peuvent très-bien se fermer pendant l'hiver, non par de la neige, mais par un affaissement de la paroi qui surplombe, accident qui du reste peut avoir lieu en toute saison. (§. 28.)

§. 32.

TORRENTS DE GLACIERS.

Les crevasses ou fentes sont en quelque sorte les artères ou les canaux conducteurs qui distri-

buent l'eau de pluie et de fonte dans toute la masse d'un glacier, et la mettent en contact avec les fêlures ou fissures capillaires, qui en retiennent tout ce qu'elles en peuvent absorber (§. 9). La portion d'eau qui n'est pas absorbée, arrive au sol, lit du glacier, dont elle suit la pente et les sinuosités jusqu'au pied du glacier, où elle reparaît au jour sous la forme d'un ou de plusieurs torrents. Le volume de ces derniers dépend de l'étendue du glacier et de son élévation; car il est bien clair que, toutes circonstances d'ailleurs égales, un petit glacier ne peut fournir autant d'eau qu'un plus grand, et l'on conçoit également bien qu'un glacier situé à une grande élévation ne peut éprouver une fonte aussi considérable, qu'un autre qui descend dans des régions plus basses et, par conséquent, plus chaudes. Ces eaux sont encore augmentées par les sources qui doivent se trouver sous la plupart des glaciers, comme nous le ferons voir plus bas. (§. 33.)

Les eaux provenant de la fonte superficielle sont toujours salies de substances terreuses, impalpables, parmi lesquelles on reconnaît des lamelles extrêmement déliées de mica, et qui, malgré leur extrême petitesse, sont encore trop volumineuses pour s'introduire avec l'eau dans les fêlures ou fissures capillaires de la glace. Ces matières proviennent de débris de roches qui, répandus

sur le glacier et participant à son mouvement, éprouvent une sorte de broiement par le frottement qu'ils exercent les uns contre les autres et contre les rochers avec lesquels ils se trouvent en contact.

Ce fin limon, qui caractérise les eaux des glaciers, ne peut avoir d'autre origine que celle que nous venons de lui assigner ; car dès que l'arrivée du froid arrête la fonte, et parconséquent le mouvement des glaciers, les eaux se clarifient tout de suite, et restent limpides jusqu'au retour du dégel[1].

§. 33.

ORIGINE DES EAUX QUI S'ÉCHAPPENT DES GLACIERS PENDANT L'HIVER.

Comme beaucoup de torrents de glaciers, peut-être la plupart, ne tarissent pas pendant l'hiver,

[1] Nos grandes rivières, telles que le Rhône, l'Aar, la Reuss, la Linth ou Limmat et le Rhin, servent de dégorgeoirs aux eaux des glaciers du versant septentrional des Alpes. Elles charrient toutes pendant l'été un limon fin dont elles ne se dépouillent entièrement que dans les lacs où elles se rendent avant de continuer leur cours vers la mer. Mais dès que le froid fait cesser la fonte des glaciers, leurs eaux prennent une limpidité parfaite, et en même temps diminuent considérablement de volume, parce qu'elles sont réduites au seul produit des sources. Il est bien à regretter qu'on ne connaisse pas encore la différence de volume qu'il y a entre les hautes et les basses eaux de chacune de ces rivières, afin de pouvoir évaluer approximativement la quantité d'eau

on en a conclu que la chaleur de la terre maintient le lit des glaciers à une température assez élevée pour pouvoir les fondre à leur face inférieure.

Cependant diverses considérations me donnent la conviction que cette conclusion n'est pas juste, quoiqu'elle soit encore admise par la plupart des naturalistes. On conçoit bien que ces torrents doivent considérablement baisser, dès que le froid les prive des eaux qui leur arrivent pendant l'été par la fonte superficielle de la glace. Mais si nous admettons que la chaleur terrestre soit la cause qui, fondant la glace, produit les eaux hivernales après la cessation complète de la fonte extérieure, nous ne saurions nous expliquer pourquoi ces mêmes eaux, au lieu de conserver leur volume, vont constamment en diminuant jusqu'au retour du dégel, de manière qu'elles sont à leur *minimum*, uon pas dans les mois les plus froids, mais seulement à la fin de l'hiver [1].

fournie par les glaciers, et celle qui l'est par les sources. J'espère que sous peu je pourrai l'indiquer pour le Rhône, dans un profil pris aux Bains de Lavey à une demi-lieue au-dessus de Saint Maurice.

[1] Chargé depuis neuf ans de la direction des travaux que le Gouvernement du Canton de Vaud fait exécuter pendant l'hiver dans le but de diguer le Rhône, j'ai dû porter particulièrement mon attention sur les crues et sur les baisses de cette rivière, qui est le dégorgeoir de tous les glaciers du Valais, à l'exception du petit nombre de ceux qui se trouvent dans le voisinage du revers méridional du Simplon. J'ai toujours remarqué que les plus basses eaux

Pour se rendre compte de la cause de cette diminution, voudrait-on supposer que le froid pénètre peu à peu jusqu'au fond des glaciers, et y affaiblit l'action de la chaleur terrestre? Nous objectons à cette explication l'épaisseur des glaciers, trop considérable pour que, dans le courant d'un hiver, le froid du dehors, quelque intense que nous le supposions, puisse les pénétrer jusqu'au fond; d'ailleurs, durant cette saison, à l'exception peut-être de l'issue du torrent, toutes les autres ouvertures communiquant avec le lit ou le fond du glacier, sont couvertes de neige et rendues inaccessibles à l'air extérieur. En outre, beaucoup de nos glaciers et tous nos hauts-névés se trouvent à une élévation où la température de la terre est à zéro. M[r] Bischof, dans son ouvrage classique *sur la température de la terre*, évalue cette hauteur dans les Alpes à 6165 pieds. Mais nous ferons connaître plus loin quelques faits (§. 34), qui engagent à croire que les glaciers peuvent descendre bien au-dessous de cette limite,

n'arrivent jamais pendant les mois les plus froids, mais seulement dans la première semaine de Mars, quelquefois même un peu plus tard, et qu'elles restent ensuite dans un état à peu près stationnaire jusqu'à la première semaine d'Avril, où elles commencent insensiblement à grossir par la fonte des neiges des basses montagnes (de 2000 à 3000 pieds d'élévation). Le dégel n'arrive guère dans la région des glaciers avant la fin d'Avril, et il y est même encore fréquemment interrompu par des retours de froid.

sans que le sol qu'ils recouvrent, se dégèle entièrement. Or si, dans beaucoup de cas, leur lit ne se dégèle pas pendant l'été, comment pourrait-on raisonnablement admettre qu'il dégelât pendant l'hiver, et qu'il y eût un excédant de calorique capable de fondre les glaciers par leur face inférieure? Enfin, Mr Bischof a déjà démontré de la manière la plus évidente, que la température sous un glacier diffère très-peu pendant l'été de celle qui y règne pendant l'hiver. En effet, s'il existe quelque différence, elle ne peut être sensible que dans les endroits où les eaux et les courants d'air ont accès; mais elle doit être nulle partout où la glace est en contact immédiat avec le sol, et à l'abri de ces agents calorifères[1].

Il suit de ce qui vient d'être dit qu'il n'est nullement probable que ces eaux hivernales soient le résultat de la fusion des glaciers par leur face inférieure. Il paraît au contraire plus naturel de les attribuer à des sources qui débouchent sous les glaciers, et qui, venant d'une certaine profondeur, y arrivent dans un état plus ou moins thermal, c'est-à-dire, ayant une température plus

[1] On a vu dans des grottes ou excavations creusées par le torrent dans la glace, dégoutter de l'eau de la face inférieure du glacier, et on n'a pas manqué de l'attribuer à l'action de la chaleur terrestre, tandis qu'elle provenait tout bonnement, tant de la fonte opérée par l'air ambiant, que des filtrations de l'eau extérieure au travers de la glace fêlée et fissurée.

élevée que la localité où elles ont leur issue. Par conséquent, s'il y a quelque fusion dans cette saison, elle ne peut être occasionnée que par le contact de la glace avec ces eaux ou avec leurs vapeurs. Ces sources, provenant des eaux qui, durant la saison chaude, s'infiltrent dans les fentes et les fissures des montagnes environnantes, doivent donc diminuer dès que le froid arrête les pluies et la fonte des neiges, et aller toujours en baissant, jusqu'au moment où le retour du dégel rétablit les infiltrations.

De cette manière, nous pouvons nous rendre compte de l'origine des eaux hivernales des glaciers, sans avoir recours à la chaleur de la terre, et comprendre facilement pourquoi ces torrents vont constamment en diminuant jusqu'à la fin de l'hiver, et pourquoi plusieurs d'entr'eux tarissent même avant cette époque. Enfin, l'existence de sources dans la région des glaciers est un fait que quiconque a visité les Alpes avec un peu d'attention, ne révoquera jamais en doute[1].

[1] Il y a encore un fait qui prouve l'existence de sources dans la région des neiges permanentes, mais que je n'ai rencontré que dans les Pyrénées. Je veux parler de ces amas d'eau, dont la surface reste gelée toute l'année. Le plus remarquable est le *Lac Glacé d'Oo*, au pied du Port du même nom, au fond de la vallée de Larboust, à 7 lieues de marche au-dessus de Bagnères de Luchon. Ce lac est à 8166 pieds au-dessus de la mer; il occupe le fond d'un bassin, ou plutôt d'une sorte d'entonnoir, entouré de hautes montagnes de

§. 34.

FAITS QUI TENDENT A PROUVER QUE LE LIT DES GLACIERS NE DÉGÈLE PAS.

Maintenant nous allons faire connaître les faits qui, quoique en petit nombre, tendent néanmoins à prouver, comme nous l'avons annoncé plus haut (§. 33.), que, lors même que des glaciers des-

granite et de gneis ; les pentes rapides de ces dernières sont couvertes de glaciers et de hauts-névés, qui, du côté de l'Est, du Sud et de l'Ouest, descendent jusqu'aux bords du lac, et présentent l'aspect le plus imposant. La forme du lac est à peu près ovale, et le grand axe est dirigé de l'Est à l'Ouest. Sa longueur est d'environ 600 pieds et sa largeur de 360 pieds. J'ai trouvé sa surface entièrement gelée le 10 Septembre 1810 et le 4 Octobre 1811. Les gens de la contrée m'ont tous assuré qu'il ne dégèle jamais. La glace était parfaitement unie, d'un gris bleuâtre partout où elle n'était pas couverte d'une mince couche de neige ou plutôt de givre. On y remarquait quelques crevasses remplies de glace, évidemment produites par un changement de niveau des eaux qui se trouvent dessous. Celles-ci se dégorgent au travers des rochers de l'enceinte septentrionale, par un canal souterrain, dont l'issue se trouve au bas de la Coumme de la Béque, et il donne lieu à une forte et belle source. La glace n'a point la structure grenue de celle des glaciers ; elle est parfaitement semblable à la glace ordinaire. Un lac un peu plus petit et ne dégelant pas non plus de toute l'année, se trouve à peu de distance à l'Est de celui d'Oo, et n'en est séparé que par la montagne appelée la Penna de Montarqué. Enfin le lac du Mont-Perdu et ceux d'Estom-Soubiran au fond de la vallée de Cauterez, conservent leur glace jusqu'à la fin d'Août. Ces derniers ne montraient aucune trace de dégel lorsque je les visitai le 25 Juillet 1809 ; mon guide, chasseur d'isards de Cauterez, m'assura que dans les années froides ils ne dégèlent pas du tout.

cendent au-dessous de la ligne où la température de la terre est à zéro, leurs lits ne dégèlent pas.

L'un de ces faits est tiré du glacier inférieur de Giètroz [1], dans la vallée de Bagnes, le même qui, déjà en 1595, et plus tard en 1818, barra la vallée, en arrêta le torrent, appelé la Drance, le fit refluer, et le transforma en un lac de $^5/_4$ de lieue de longueur, qui le 16 Juin à 4 heures du soir, par une rupture du glacier, s'écoula tout-à-coup, et dévasta le fond de la vallée jusqu'à la rencontre du Rhône au-dessous de Martigny. Pour prévenir le retour d'un évènement aussi désastreux pour la contrée, le Gouvernement du Canton du Valais y fait faire toutes les années, depuis 1821, des travaux dans le but de maintenir ouvert le canal, ou plutôt la galerie par laquelle le torrent passe sous cette barre de glace. Pour obtenir ce résultat, on enlève une portion du gla-

[1] Ce glacier est formé par les éboulements de glace qui pendant la belle saison se détachent tous les jours d'un vaste glacier supérieur. Ces glaces atteignent dans leur chûte un couloir profond et rapide qui les verse toutes brisées au pied de la montagne, où, en s'accumulant, elles barrent la vallée. La pluie et la fonte ne tardent pas à cimenter ces fragments, et à changer le tout en une masse solide, ayant tous les caractères des vrais glaciers. Il n'est pas rare dans les Alpes de rencontrer de petits glaciers qui ne sont d'autre chose que les éboulements accumulés de quelque glacier supérieur. Ainsi, par exemple, le petit glacier de *Barme-neyre* au-dessus de la montagne de Vosey, est formé par les avalanches de glace qui se détachent dans cette localité du glacier des Diablerets.

cier jusqu'à son lit, formé de gravier entre-mêlé de quelques gros blocs de roche. On commence ordinairement ce déblaiement vers le milieu de Juin, et on le continue jusque vers la mi-Octobre. Eh bien, toutes les années depuis le commencement du travail jusqu'au moment où on l'arrête, à cause du retour de la mauvaise saison, on a trouvé le lit du glacier gelé, à l'exception d'une bande d'environ 10 pieds de largeur, qui longe le torrent, et où le terrain a été dégelé par les infiltrations de la Drance, et probablement aussi par le courant d'air qui doit exister entre la surface de l'eau et la voûte de glace.

Nous avons donc ici l'exemple d'un lit de glacier qui ne dégèle pas de toute l'année, quoiqu'il ne soit qu'à 5538 pieds[1], au-dessus de la mer, et par conséquent à 627 pieds au-dessous de la ligne, où la température moyenne de la surface de la terre est à zéro. C'est du reste le seul exemple à moi connu où une portion d'un lit de glacier soit mise à nud toutes les années par des travaux réguliers.

Un second fait que nous allons indiquer actuellement, n'a pas été fourni, comme l'autre, par l'observation directe de la congélation d'un lit de glacier, mais par une circonstance relative à la

[1] Voy. Alph. de Candolle Hypsométrie pag. 73. art. *Plan-Durand.*

végétation, et qui, sans cette congélation, n'aurait pu avoir lieu. Voici de quoi il s'agit :

Lorsque les glaciers peuvent s'élargir sans obstacle, et qu'ils rencontrent un terrain graveleux, donnant facilement passage à l'eau, ils l'envahissent sans le bouleverser (§. 16), et recouvrent ainsi les végétaux qui peuvent s'y trouver. En 1818, année où les glaciers avaient pris un développement extraordinaire, le glacier du Tour, dans la vallée de Chamounix, atteignit les prairies du hameau qui lui a donné son nom, et y bouleversa les terres et le gazon. Mais avant d'y arriver, il avait déjà recouvert un de ces terrains graveleux et incultes, sorte d'atterrissements qu'on désigne, dans la Suisse française, par le nom de *glariers*, et qui sont presque toujours le résultat du débordement des torrents. En Août 1823, je trouvai le glacier considérablement diminué. Il avait abandonné, non seulement les prairies, mais aussi en grande partie le glacier dont je viens de parler. Sur ce terrain, nous trouvâmes plusieurs grosses touffes de *Trifolium alpinum*, de *Trifolium caespitosum*, de *Geum montanum*, et de *Cerastium latifolium*. La place où étaient ces plantes, ne pouvait avoir été abandonnée par le glacier que depuis une année tout au plus. Elle n'avaient pu y croître depuis sa fonte, parce qu'elles sont vivaces et exigent toutes un temps très-long pour acquérir un

développement tant soit peu considérable[1]. Elles devaient donc s'y trouver déjà avant l'envahissement du terrain par le glacier, et avoir acquis précédemment le développement qu'elles présentaient en 1823. Elles avaient été ensevelies sous la glace au plus tard en 1817, et n'en avaient été débarrassées qu'en 1822. Ces plantes étaient donc restées pour le moins 4 ans entièrement recouvertes par le glacier et privées de lumière. Mais pour qu'elles aient pu se conserver aussi longtemps dans l'obscurité sans périr, il faut nécessairement admettre que le terrain a été gelé pendant tout le temps que le glacier le recouvrait; car, sans cette condition, l'humidité et l'absence de lumière auraient fait immanquablement pourrir ces plantes. Nous ajoutons que la localité où nous les trouvâmes, est à peine à 4700 pieds au-dessus de la mer.

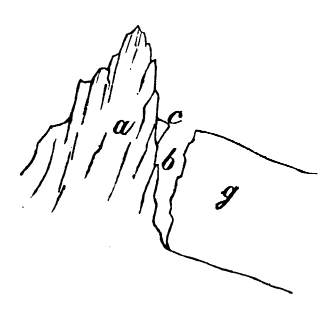
Mrs Venetz et Thomas ont fait des observations tout à fait semblables relativement aux glaciers des vallées d'Hérens, de Viége et de Saas. Il existe chez les habitants de Zermatt des traditions dont nous ne voulons pas garantir l'exactitude, mais d'après lesquelles le glacier de Gorner, ayant

[1] Un pied de *Trifolium alpinum* exige au moins une quarantaine d'années pour former une racine de 10 à 12 pouces de longueur, ce qu'on peut aisément reconnaître par les stipules des feuilles radicales, dont les vestiges se conservent fort longtemps.

envahi près du hameau d'Aroleit, des champs fraîchement ensemencés d'orge, y aurait séjourné deux ans, au bout desquels il se serait retiré; la graine alors, n'ayant rien perdu de sa faculté germinative, aurait levé et mûri.

Enfin nous citerons un troisième fait, qui serait inexplicable, si la température du sol qui se trouve en contact immédiat avec la glace, était au-dessus de zéro. Nous voulons parler de ces franges de neige ou de glace qu'on voit fréquemment attachées en forme de corniche aux parois des rochers qui bordent les glaciers ou les haut-névés, et qui en sont séparés par une crevasse.

Fig. XX.



Soit *g* (Fig. XX) le profil d'une portion de glacier ou de haut-névé, séparée du rocher *a* par la crevasse *b*. Quand cet accident, très-commun dans les Alpes, se rencontre à de grandes élévations,

on trouve fréquemment une frange de neige ou de glace attachée en forme de corniche à la paroi du rocher qui constitue l'un des côtés de la crevasse. On voit en *c*, le profil de cette frange, qui certes ne pourrait adhérer au rocher et se maintenir dans cette situation, si elle n'était collée à la paroi par la gelée. Mais cette adhérence par congélation ne pourrait avoir lieu, si la température de la portion de la paroi contre laquelle la corniche est fixée, était au-dessus de zéro[1].

Nous sommes cependant bien éloignés de conclure de ces faits, que la température du lit d'un glacier soit à zéro sur toute son étendue. Nous croyons au contraire qu'elle est au-dessus partout où le lit est en contact avec l'eau, opinion confirmée par l'observation rapportée plus haut, de la bande de terrain dégelé le long de la Drance sous le glacier du Gètroz.

Il doit en être de même dans les endroits où l'air extérieur peut avoir accès; ainsi le long des bords, surtout au pied des glaciers. Mais partout

[1] J'ai appris qu'il existe des localités dans les tourbières de la Brévine dans le Jura neuchâtelois, où, à quelques pieds de profondeur, le sol ne dégèle pas de toute l'année. Ce fait, qui m'a été rapporté par le fondateur même de la géologie actuelle, prouve jusqu'à l'évidence, à ce qu'il me semble, que la chaleur terrestre n'exerce pas à la surfaee de la terre dans nos climats, une action aussi puissante que le supposent ceux qui lui attribuent la fonte des glaciers par leur face inférieure.

où il y a contact immédiat entre le sol et la glace, nous pensons que la température ne peut jamais s'élever au-dessus de zéro, et que par conséquent il ne peut y avoir de dégel dans aucune saison[1].

§. 35.

SILLONS DANS LES LITS DE GLACIERS.

Lorsque le lit d'un glacier est un calcaire compacte, à pâte fine et homogène, les eaux qui dégouttent des crevasses, dissolvent la roche, et y produiseut ainsi des creux ou des sillons, selon que l'eau tombe par filet ou par nappe[2]. On n'en

[1] Voyez sur la température des lits de glaciers le Chapitre IX de l'ouvrage de Mr Bischoff, où ce savant physicien a traité ce sujet avec autant de profondeur que de lucidité, et où il est conduit à ce résultat, que la température moyenne d'un lit de glacier est à zéro. Nous admettons bien cette température moyenne pour toutes les portions du lit où l'air et l'eau ont accès. Mais là où ces agents calorifères ne peuvent pas parvenir, c'est-à-dire, partout où il y a contact immédiat entre le lit et la glace, la température moyenne de l'année doit être au-dessous de zéro, pour s'accorder avec les faits que nous venons de rapporter. Sans la température de la terre, dont nous ne nions pas l'influence, elle serait encore plus basse.

[2] En Août 1819, je visitai le glacier des Diablerets qui, cette année là, allait en diminuant; je trouvai sur le bord oriental une sorte de grotte dont la voûte était fort surbaissée, et qui permettait de voir le lit du glacier sur une étendue d'environ 15 pieds en carré. Il était formé de calcaire noir, compacte, appartenant probablement à la craie. La surface en était parfaitement nue, et présentait plusieurs de ces sillons parallèles de 3 à 4 pieds de profon-

rencontre jamais sur les granites, les schistes quarzeux, micacés ou talqueux, ni guère sur les calcaires mélangés de sable ou d'argile. Nous sommes donc autorisés à croire que ces excavations sont produites plutôt par voie de dissolution, que par l'action mécanique de l'eau. Elles ont quelquefois de 10 à 15, et même jusqu'à 20 pieds de profondeur; leur largeur varie de quelques pouces jusqu'à 4 pieds. Mais dans la profondeur, et vers les extrémités, elles vont en se rétrécissant pour se terminer en coin. Comme nous n'avons pas trouvé de ces sillons remplis d'eau, nous pensons qu'elle s'écoule par des fissures tant accidentelles que de stratification. Il est même probable que des fissures verticales et peu ouvertes provoquent fréquemment ces érosions, ou, du moins, qu'elles les favorisent. On rencontre dans les Alpes calcaires des localités où ces sillons très-rapprochés occupent une grande étendue de terrain. Les montagnards de la Suisse française appellent ces endroits des *Lapis*, et ceux de la Suisse allemande leur donnent le nom de *Karrenfelder*,

deur et de 7 à 8 pouces de largeur. Ils étaient tous vides, quoique quelques-uns se trouvassent précisément sous des fentes peu ouvertes du glacier, d'où s'écoulait de l'eau, qui tombait goutte à goutte dans le sillon correspondant, sans le remplir; ces eaux trouvaient une issue, probablement par les fissures de stratification.

les comparant à des champs sur lesquels des charrettes auraient produit des ornières[1].

Je n'aurais pas fait mention de cet accident, peu intéressant par lui même, s'il ne fournissait un indice de plus pour reconnaître l'ancienne étendue d'un glacier. J'y reviendrai à l'occasion du terrain erratique (§. 57).

§. 36.

RÉPONSES A DES OBJECTIONS.

Après avoir exposé les principaux phénomènes des neiges permanentes des Alpes[2], il nous reste encore à répondre aux objections qui nous furent faites le 13 Septembre 1838, lorsque nous fîmes part de nos idées sur les phénomènes des glaciers, mais verbalement et très en abrégé, à la section géologique de la Société Helvétique des sciences naturelles, réunie à Bâle.

[1] Mr Frœbel indique une autre étymologie du mot *Karrenfeld*, en le dérivant de la langue gallique, dans laquelle *Carr* signifie rocher, et *Carn* monceau de pierres. Voyez son intéressante relation d'une excursion dans les vallées d'Hérens, d'Anniviers et de Tourtemagne, pag. 3.

[2] J'ai entièrement passé sous silence la neige rouge qu'on rencontre assez fréquemment dans diverses contrées de nos Alpes. Le premier motif de cette omission, et sans doute le plus plausible, c'est que, ne m'étant guère occupé de cet objet, j'aurais été réduit à copier et à répéter ce que les autres

La première objection qui nous fut faite, avait trait à la congélation nocturne de l'eau absorbée par les fêlures ou fissures capillaires de la glace. On la mit en doute par la raison que l'épaisseur des glaciers est trop considérable, pour que la différence entre la température du jour et celle de la nuit puisse se faire sentir et produire quelque effet dans l'intérieur de ces énormes masses de glace. Cette objection serait en vérité sans réplique, si les glaciers présentaient une masse compacte, exempte de pores et de fissures, de manière que ni l'eau ni l'air ne pussent parvenir dans leur intérieur. Mais on sait qu'il n'en est point ainsi; au contraire les glaciers sont coupés par une multitude de crevasses et de fentes, et les fêlures ou fissures qui les traversent en tout sens, sont si nombreuses, qu'elles deviennent la cause de la structure grenue de la glace (§. 8).

Rappelons-nous que le maximum de température des glaciers ne peut jamais être *au-dessus* de

en ont dit; le second, que la neige rouge, ou pour parler plus exactement, que les corps qui lui communiquent cette couleur, appartiennent aussi peu au domaine de la physique et de la géologie, que les chamois et les bouquetins, qui habitent également la région des neiges permanentes; ces corps sont entièrement du ressort de la botanique et de la zoologie. Cette lacune dans mon travail est d'autant moins à regretter que Mr Schuttleworth vient de terminer sur cet objet un mémoire étendu et fort intéressant, maintenant inséré dans la Bibliothèque universelle de Genève, Cahier de Février 1840.

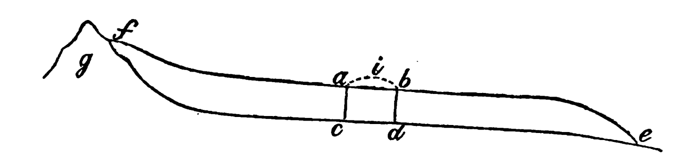
zéro; que l'eau qui s'introduit dans leur intérieur, doit être d'une température bien voisine du point de congélation, puisqu'elle provient principalement de la fonte des glaces et des neiges, avec lesquelles d'ailleurs elle a été constamment en contact; que cette eau ne peut guère amener avec elle plus de calorique qu'il ne lui en faut pour se maintenir liquide, et pour empêcher la congélation de celle qui a été absorbée par les pores et les fissures capillaires. Si l'on réfléchit, disons-nous, à toutes ces circonstances, on concevra sans peine comment le refroidissement nocturne de l'air peut agir sur tous les points de l'intérieur des glaciers; comment ce refroidissement, quelque faible qu'il soit, arrête la fonte superficielle; comment il prive ainsi l'eau retenue dans la glace, de son unique source de chaleur, et peut provoquer une prompte congélation, qui, en dilatant la glace, produit de nouvelles fissures.

Une autre objection se rapportait à la dilatation de la glace. On prétendit que le frottement des glaciers contre leur lit devrait opposer à la force expansive une résistance trop considérable pour qu'elle pût agir dans le sens de la longueur; par conséquent, au lieu de les allonger ou de les faire avancer, la dilatation ne devrait agir que du bas en haut, ou dans le sens de l'épaisseur, et ne produire d'autre effet que de bomber ou de

faire gonfler la surface, ce qui cependant n'arrive pas d'une manière aussi prononcée que cela devrait être si cette expansion existait réellement.

L'objection serait fondée si la dilatation n'avait lieu que dans une portion du glacier.

Fig. XXI.



Soit Fig. XXI, la coupe longitudinale d'un glacier *g*, et *a b c d*, la portion soumise à la dilatation. Il est bien clair que, dans cette supposition, la glace comprise entre *b d e* et *a c f*, opposerait à la force expansive de la portion *a b c d*, une résistance qu'elle ne pourrait vaincre. Tout l'effort se porterait vers la surface *a b*, la ferait bomber et l'obligerait à prendre à peu près la forme indiquée par la ligne pointée *a i b*.

Comme l'expansion de la glace n'est pas partielle, mais qu'elle a lieu dans toute la masse du glacier, ces renflements, que l'objection réclame, ne peuvent pas se produire, et leur absence ne fournit pas un argument contre l'opinion qui attribue l'avancement, ou en général le mouve-

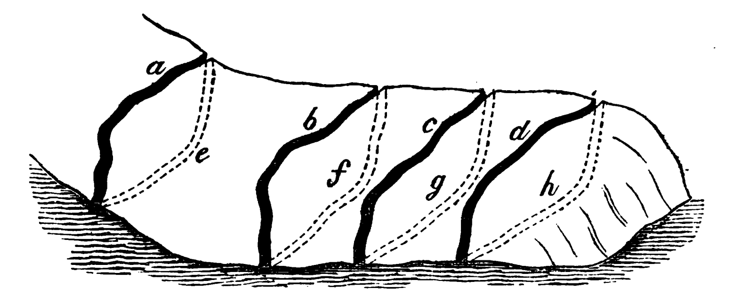
ment des glaciers, à la congélation de l'eau dans leur intérieur.

La dernière objection qui nous fut faite, avait également rapport à la dilatation, et était tirée de la structure de la glace. On prétendit que sa porosité est une circonstance incompatible avec son expansion.

Nous répondons à cette objection, que la porosité de la glace, loin d'empêcher la dilatation, en est au contraire la condition indispensable. En effet, sans les pores et les fissures capillaires, il n'y aurait point d'absorption d'eau; la congélation répétée dans l'intérieur ne pourrait pas avoir lieu, et par conséquent, les glaciers seraient privés de leur seule cause de mouvement.

On pourrait objecter les crevasses, non comme un obstacle à l'expansion de la glace, mais comme étant une circonstance qui devrait gêner, et en quelque sorte paralyser l'action de cette force sur le mouvement des glaciers, surtout dans le sens de leur longueur.

Fig. XXII.



En effet, si un glacier était traversé par des crevasses *a b c d*, Fig. XXII, qui s'étendissent d'un bord à l'autre, et atteignissent le fond, de manière à partager le glacier en plusieurs sections ou portions séparées *e f g h*, il est évident que ce ne serait que la dilatation de la portion *h*, qui ferait allonger le glacier; toutes les autres resteraient étrangères à ce mouvement progressif, et leur expansion n'aurait d'autre résultat que de rapprocher les unes des autres et de rétrécir les crevasses. Mais de pareilles crevasses, coupant le glacier jusqu'au fond dans toute sa largeur, personne n'en a jamais vu, et il est impossible même qu'il en existe, à cause du peu de solidité de la glace, qui, coupée verticalement sur une étendue aussi grande que le profil du glacier, ne tarderait pas à s'ébouler. La continuité entre les diverses

parties d'un glacier n'est jamais entièrement rompue; il existe toujours assez de points de contact et de liaison, pour que le mouvement imprimé par l'expansion, puisse se communiquer de l'une de ces parties à l'autre, et faire avancer toute la masse.

§. 37.

UN MOT SUR LES GLACES BORÉALES.

Je m'étais proposé de ne traiter dans ce mémoire que des neiges perpétuelles des Alpes, et particulièrement de celles du Valais. Cependant je ne saurais abandonner ce sujet sans dire un mot des neiges et des glaces permanentes des contrées boréales.

Comme je n'ai visité aucun des pays situés sous les hautes latitudes du Nord, je me trouve dans l'impossibilité de rapporter mes propres observations. Je n'abuserai pas non plus du loisir et de la patience de mes lecteurs, par une répétition de faits qu'ils connaissent déjà par la relation des voyages entrepris dans les mers du Nord, au Spitzberg[1], sur les côtes du Grœnland, dans

[1] Mr Martins, membre de la Commission du Nord, vient de publier un travail infiniment intéressant sur les neiges perpétuelles du Spitzberg. Il est

l'Asie et l'Amérique septentrionale. Je me bornerai donc à exposer en peu de mots l'idée que ces relations m'ont donnée de l'état des glaces de ces contrées. Les faits rapportés par les voyageurs nous autorisent à diviser les glaces du nord en deux classes, que l'on pourrait désigner par les noms de *glaces flottantes*, et de *glaces terrestres*.

Les glaces flottantes peuvent encore se distinguer en deux espèces : 1° la glace produite par la congélation de l'eau de la mer, et 2°, les fragments de glace détachés des vastes glaciers qui s'étendent *de l'intérieur* des terres jusqu'au bord de la mer et y font même saillie.

La plus grande partie des glaces flottantes des mers du Nord appartiennent à la première sorte, tandis que la glace détachée des glaciers ne se trouve que le long des côtes, dans les golfes et les baies. La masse totale de ces fragments doit être petite en comparaison de celle qui a été formée par la congélation de l'eau de la mer ; cependant on en rencontre des fragments d'un volume très-considérable[1].

inséré dans la Bibliothèque universelle de Genève, Cahier d'Août 1840, pag. 139, sous le titre : *Observations sur les glaciers du Spitzberg, comparés à ceux de la Suisse et de la Norwége.*

[1] Scoresby, dans son voyage à la côte orientale du Grœnland, vit un nombre considérable de glaciers le long de la côte méridionale de la baie qui porte son nom. Ils en remplissaient les gorges et les vallées, et atteignaient le

Les *glaces terrestres* se présentent sous trois formes ; savoir : 1°, en glace cimentant le diluvium ; 2°, en marais congelés ; et 3°, en névés et glaciers.

Le diluvium cimenté par de la glace constitue le sol du nord de l'Amérique et de la Sibérie, à partir du 62me degré de latitude environ ; c'est-à-dire que, dans ces contrées, à quelques pieds sous la surface du ~~terrain~~ sol, les terres, les sables et les graviers sont toute l'année cimentés par de la glace. Ce diluvium est recouvert par une couche plus ou moins épaisse de humus, qui nourrit une végétation forte et variée[1].

J'envisage comme des *marais congelés* ces vastes dépôts de glace tantôt pure, tantôt mêlée de sable et d'argile, qu'on rencontre dans la partie occidentale de la côte nord de l'Amérique, particulièrement dans la baie d'Eschscholz, et dans le nord de la Sibérie, à l'embouchure du Jénisey, de la Léna, de l'Alazeia, etc. Ces glaces, comme tout le monde le sait, renferment une quantité prodigieuse d'ossements et de dents fossiles d'éléphant

bord de la mer. Il attribue à ces glaciers la grande quantité de blocs de glace qui flottaient dans cette baie. Il en remarqua plusieurs dont il estime l'épaisseur à 1000 pieds, et la circonférence à un mille anglais. SCORESBY. *Traduction allemande par Kries*, *pag*. 242.

[1] Voyez la relation classique du voyage autour du monde par Mr Ermann. Vol. III.

et de rhinocéros. (*Elephas primigenius* Blumenb. et *Rhinoceros tichorinus* Cuv.). On y trouve même des portions de ces animaux dont la chair, la peau et le poil sont parfaitement conservés [1].

On pourra demander pourquoi ces marais se sont conservés à l'état de glace ordinaire, au lieu de se changer en glaciers? Je répondrai que cette glace a été formée par la congélation de masses d'eau, et non par celle de neiges imbibées d'eau. En conséquence, dès son origine, elle a été compacte et exempte de fissures, et, par ce fait, privée des conditions nécessaires pour absorber de l'eau, pour se dilater, pour prendre du mouvement, ou en un mot, pour se changer en glacier. Les bulles d'air qu'elle renferme, ne peuvent remplacer les fêlures ou fissures capillaires, puisqu'elles ne communiquent ni entr'elles ni avec la surface; par conséquent, elles ne peuvent pas absorber l'eau, ni la transmettre à l'intérieur de la masse (§. 6).

Les glaces des régions boréales se présentent encore sous forme de véritables glaciers. Mr Martins a fort bien fait connaître ceux des îles du Spitzberg, et nous venons de rappeler que Mr Scoresby en a vu un grand nombre sur les côtes

[1] Cuvier recherches sur les ossements fossiles. Herrmann de Meyer *Palæologica*.

orientales du Grœnland, où, comme au Spitzberg, ils fournissent leur tribut aux glaces flottantes.

Ces glaciers ont exactement la même origine que ceux des Alpes. Ils ont été également des *névés*, qui, par l'absorption de l'eau et par sa congélation, se sont peu à peu convertis en glaciers (§. 4).

On pourrait objecter à ce mode de formation que la condition essentielle pour que ce changement s'opère, savoir, celle d'une alternative de dégel et de gelée, occasionnée par la différence de la température du jour à celle de la nuit, n'existe pas dans ces contrées, où, durant la plus grande partie de l'été, le soleil ne disparaît pas sous l'horizon par conséquent, ce changement périodique de température ne devrait pas y avoir lieu.

Nous répondons à cette objection qu'il doit y avoir également là des changements de température mais d'une manière moins régulière que chez nous. On sait que, durant l'été, la chaleur sous ces hautes latitudes est assez intense, non seulement pour opérer une fonte considérable de neige, mais aussi pour réveiller et faire prospérer une végétation beaucoup plus variée et beaucoup plus abondante que celle de la région nivale des Alpes, où cependant le sol dégèle tous les étés, s'il n'est pas recouvert par des névés ou des glaciers. L'île de Melville a fourni au Capitaine Parry 67 es-

pèces de plantes phanérogames. Le Capitaine Scoresby en a récolté 38, seulement sur une petite étendue de la côte de la baie de Scoresby. Ce même navigateur et le Cap. Sabine ont rapporté du Spitzberg 28 espèces; et Mr Martins y en a trouvé 57, parmi lesquelles il y a 7 espèces de *Draba* et 10 de *saxifraga*, tandis que Mr Heer ne compte que 12 espèces phanérogames dans la région nivale des Alpes[1].

Si l'on réfléchit qu'au Spitzberg, pendant l'été, il pleut jusque sur les cimes les plus élevées des montagnes, et que néanmoins la température moyenne du mois le plus chaud de ces îles n'est que de $2^8/_{10}$ degrés centigrades[2], on concevra aisément que, malgré la présence continuelle du soleil sur l'horizon pendant l'été, un brouillard, un nuage qui en intercepte l'éclat, doit immédiatement provoquer un abaissement le température suffisant pour opérer la congélation de l'eau absorbée. Ainsi, pendant l'été, les brouillards et le ciel couvert produisent sur les glaciers des contrées boréales, le même effet que les nuits durant cette saison dans les pays méridionaux.

[1] Scoresby's Account of the arctic regions Tom. I. pag. 123 et suiv. Scoresby ouv. cit. pag. 358. — Ernesti Meyer de plantis Labradoricis libri tres. Lipsiæ 1830. Heer Beiträge zur Pflanzengeographie. Zurich 1835. Bibliothèque universelle vol. 55.

[2] Ermann Voyage etc. Tom. III. pag. 253.

Seconde Partie.

DU TERRAIN ERRATIQUE.

§. 38.

DÉFINITION.

On donne le nom de *terrain erratique*, à des fragments de roches que l'on rencontre à des distances quelconques des montagnes d'où ils ont été détachés, et dont le mode de transport est encore problématique pour beaucoup de géologues. S'il est probable que ce transport a été opéré par des agents qui existent encore aujourd'hui, il est évident que leur action n'a plus lieu sur une échelle aussi grande qu'à l'époque où ils ont effectué ces déplacements.

D'après cette définition, dont je reconnais toute l'imperfection, on n'envisage pas les éboulements comme appartenant au terrain erratique, parce que l'on connaît la cause du déplacement qui les a produits. De plus, rien n'empêche que des éboulements aussi considérables que ceux qui ont eu lieu dans les temps les plus reculés, ne puissent se renouveler de nos jours, et cela sans qu'un changement dans l'état normal du globe soit nécessaire.

Les débris de roches qui constituent le terrain diluvien et alluvien, ne sont pas censés non plus en faire partie, quoiqu'on les trouve très-fréquemment à des distances infiniment plus grandes de leur origine, qu'on ne trouve les débris erratiques.

Le motif de cette exclusion se fonde sur ce que le mode de transport des débris alluviens et diluviens n'est point problématique ; en effet on reconnaît de la manière la plus évidente que ce transport a été opéré par les eaux.

Il est superflu de faire observer que les courants d'eau qui ont transporté et déposé le *diluvium* doivent avoir été beaucoup plus considérables que les rivières actuelles qui ont donné lieu aux dépôts *d'alluvium*, et qui en forment encore tous les jours.

§. 39.

DÉNOMINATION.

Le gros volume des fragments de roche que l'on rencontre parmi les débris erratiques, a donné lieu à l'habitude de désigner ce terrain par le nom de *blocs erratiques*; car ce sont les gros blocs qui, les premiers, ont attiré l'attention des géologues sur cet intéressant phénomène. Mais cette dénomination est inexacte et par conséquent mal choisie; car le mot *bloc* emporte toujours l'idée d'un gros volume, et cependant on trouve du sable et même le *limon le plus fin* à l'état erratique. Par conséquent je n'emploierai l'expression *blocs erratiques* que lorsqu'il s'agira réellement de fragments de gros volume, atteignant un ou deux pieds cubes; je donnerai aux menus débris le nom de *gravier*, de *sable* et de *limon erratiques*; je désignerai enfin par le nom de *terrain erratique*, l'ensemble de ces fragments, sans avoir égard à leur volume, ni à leur nombre.

§. 40.

DIFFÉRENCE ENTRE LE TERRAIN ERRATIQUE ET LES TERRAINS DILUVIENS ET ALLUVIENS.

Le terrain erratique se distingue du terrain

diluvien et du terrain alluvien par les caractères suivants :

1) Les débris qui constituent le terrain erratique, ne diminuent pas de volume à proportion de l'éloignement où on les trouve des montagnes d'où ils ont été détachés; tandis que les débris des terrains transportés par les eaux, augmentent de volume à mesure que l'on s'approche du lieu de leur origine.

2) Beaucoup de fragments erratiques, bien que transportés fort loin, ont néanmoins conservé la surface raboteuse, ainsi que les arêtes et les angles vifs et tranchants; en revanche les débris formant le terrain diluvien et le terrain alluvien, ont la surface lisse, et leur forme est communément arrondie. Lorsqu'on en trouve d'anguleux' ce qui du reste n'arrive pas souvent, les parties saillantes en sont toujours émoussées. Enfin,

3) Les dépôts erratiques sont rarement stratifiés, tandis que le diluvium et l'alluvium le sont presque toujours. D'ailleurs les dépôts erratiques, lors même qu'ils sont stratifiés, se distinguent toujours des autres dépôts de transport par le nombre de fragments anguleux et bien conservés qu'ils renferment.

§. 41.

AGE RELATIF.

Le terrain erratique proprement dit a été formé pendant l'époque diluvienne. Il paraît que la formation en a commencé peu de temps après le dernier soulèvement des Alpes, et qu'elle a continué jusqu'à la fin des dépôts diluviens.

Bien plus, comme nous le ferons voir plus tard (§. 84), elle continue encore aujourd'hui, mais sur une échelle infiniment petite. Il résulte de là qu'on trouve ce terrain superposé à toutes les roches d'une date antérieure au diluvium, qu'il recouvre même fréquemment ce dernier, qu'il en est recouvert à son tour, et que, dans certaines localités, il repose sur des dépôts alluviens (§. 84).

§. 42.

NATURE DES ROCHES QUI COMPOSENT LE TERRAIN ERRATIQUE.

Les débris qui constituent le terrain erratique de la plus grande partie de la Suisse occidentale, proviennent de roches qui se trouvent toutes en place dans la grande vallée du Rhône et dans ses vallées latérales. Ainsi, l'on reconnaît parmi ces débris les granites, les gneis et les schistes tal-

queux et amphiboliques des montagnes qui bordent le glacier du Rhône ; les granites talqueux verdâtres de la vallée de Binnen ; les schistes micacés avec grenat des environs du Simplon ; les euphotides ou gabbros de la vallée de Saas ; les serpentines et les gneis à gros cristaux de feldspath des vallées de Saint Nicolas et d'Hérens ; les schistes chloriteux de la vallée de Bagne et de celle du Saint Bernard ; les granites à gros cristaux de feldspath de la vallée de Ferret ; les grauwackes et les psammites rouges de la montagne de Foully ; les poudingues de Vallorsine ; les gneis de Catogne et de la montagne des Follaterres ; les calcaires des environs de Saint Maurice et de Bex, etc., etc.

Le Jorat[1] même a fourni son tribut au terrain erratique ; car on trouve des blocs de gompholite (Nagelfluh) près d'Attalens, d'Ecoteaux, d'Oron, de Rue, et même dans les environs de Moudon et de Payerne.

[1] Le Jorat est un petit système de montagnes, ou, plus exactement, un plateau élevé appartenant à la formation de la molasse. Il est situé au pied des Alpes, sur le bord septentrional du lac Léman. Son sommet le plus élevé, qu'on nomme le Pélerin, est formé de gompholite et sa hauteur au-dessus de la mer est de 3300 pieds, d'après les mesures barométriques de mon excellent ami Mr Baup. Le Pélerin est par conséquent à 2148 pieds au-dessus du lac.

Le gypse, quoique passablement répandu dans le Valais, ne se trouve pas parmi les débris erratiques, parce qu'il est trop destructible ; il se brise facilement, et, mis en contact avec l'eau, il finit par se dissoudre.

Le Jura a peu ou point contribué à la formation du terrain erratique de la vallée du Rhône, car ce n'est que sur son flanc et à son pied, qu'on trouve des fragments de roches jurassiques, mêlés aux roches venues du Valais. Il a en revanche fourni beaucoup de diluvium, mais celui-ci, du côté du midi, ne s'éloigne guère non plus du pied de cette chaîne. Ce seul fait prouve déjà que la direction de l'agent qui a opéré le transport des débris erratiques, a été du midi au nord, c'est-à-dire des Alpes au Jura. Ainsi nous ne trouvons pas non plus en Suisse de fragments de roches venant de contrées encore plus septentrionales, comme par exemple des Vosges, du Kaiserstuhl, de la Forêt-Noire, etc.

§. 43.

FORME DES FRAGMENTS.

La forme des fragments erratiques, dépendant principalement de la structure de la roche, n'offre

rien de constant. Ainsi les roches schisteuses, comme les micaschistes, les stéaschistes, les gneis, les calcaires micacés, etc., se présentent ordinairement en fragments prismatiques aplatis. Les roches non stratifiées ou disposées par strates fort épais, comme les granites, les euphotides, les serpentines, les poudingues, les gompholites, les calcaires compactes, etc., offrent des formes cubiques ou polyédriques.

L'état de conservation de la surface et des parties saillantes de ces fragments est plus important à connaître que leur forme. Les uns ont les angles emportés, les arêtes écornées et émoussées, et la surface plus ou moins frottée; il y en a même qui ont pris entièrement l'aspect des cailloux et des galets de rivières, de façon que sans le secours des circonstances accompagnantes, il serait souvent impossible de les distinguer des matériaux qui constituent les terrains diluviens et alluviens. Les autres au contraire, ont les arêtes et les angles parfaitement conservés; à peine y remarque-t-on quelque écornure; leur surface, également intacte, offre encore les aspérités de la cassure fraîche.

Les fragments arrondis et usés par frottement sont généralement plus nombreux que les autres; cependant il n'est pas rare de rencontrer des dépôts dans lesquels les fragments anguleux prédo-

minent de beaucoup. Ainsi, par exemple, la bande de terrain erratique qui se trouve au-dessus et près du bourg de Monthey en Valais, présente, sur une longueur de $^3/_4$ de lieue et sur une largeur de 500 à 800 pieds, une accumulation de blocs de granite dont la plupart ont les surfaces, les arêtes et les angles bien conservés. Il en est de même du groupe de blocs granitiques de la montagne de Plan-y-Beuf près d'Orsières; de la bande de blocs calcaires qui dès le vignoble, dit le *Chêne*, au-dessus de Bex, s'étend sur une lieue de longueur jusque près du Village d'Ollon, etc.

Nous pourrions encore indiquer d'autres localités où l'on observe ces exceptions; mais en thèse générale, nous le répétons, les blocs arrondis et frottés sont plus communs que les autres. Par conséquent nous ne saurions admettre avec Mr Agassiz[1] que les blocs erratiques que l'on trouve sur le Jura, soient *tous* anguleux. J'ai suivi le terrain erratique du Jura, dès Soleure à Neuchâtel, et dès le Val de Travers jusqu'au Pays de Gex. J'ai apporté la plus grande attention à l'examen des phénomènes qu'il présente, et j'ai partout

[1] Lettre de Mr Agassiz en date du 2 Octobre 1837, adressée à l'Institut de France et insérée dans le N° 2907 du Feuilleton du Temps; et celle qui a été publiée dans la bibliothèque universelle de Genève N° 22. pag. 417.

trouvé plus de débris arrondis, usés et frottés, que de ceux qui ne le sont pas. Si l'on ne considère que les blocs de gros volume, il n'y a pas de doute qu'ils ne soient généralement plus anguleux et mieux conservés que les petits; mais cet accident n'est point propre à la seule contrée dont je viens de parler; il se retrouve sur toute l'étendue du terrain erratique. En effet, on trouve non seulement sur le Jura, mais aussi dans les Alpes et dans la plaine de la Basse-Suisse, les gros blocs généralement mieux conservés que les petits. On pourrait presque dire que leur degré de conservation est en raison directe de leur volume. Nous ferons connaître plus tard (§. 80 c.) la cause de cet accident remarquable.

§. 44.

VOLUME DES FRAGMENTS ERRATIQUES.

On conçoit aisément que les roches dures et peu fissurées, comme les granites, les gneis, les poudingues, etc., doivent fournir généralement les blocs les plus volumineux; et que les roches tendres et fendillées, comme par exemple les schistes argileux, marneux et talqueux, les calcaires, les serpentines, etc., doivent se trouver pour l'ordinaire en fragments plus petits. Les

roches qui ont fourni les blocs les plus gros, sont : le granite talqueux de la vallée de Binnen ; le granite de la vallée de Ferret, le gneis de la montagne de Foully et de celle de Catogne. Les gros blocs calcaires que nous aurons occasion de citer, ne présentent que des cas exceptionnels.

Le volume des fragments erratiques varie considérablement. On en trouve qui ne sont que de la poussière impalpable, et il en est qui atteignent un volume de plus de cent toises cubes.

Je vais indiquer quelques blocs qui m'ont frappé par leur volume.

Près de ma demeure aux Devens, il y a sur le flanc septentrional d'une petite montagne de gypse, appelée le Montet, un bloc calcaire provenant des montagnes qui bordent la vallée de l'Avançon. La longueur moyenne de ce bloc est de 54 pieds, sa largeur de 49, et sa hauteur de 61 pieds ; il offre par conséquent un volume de 161,000 pieds cubes. Les arêtes et les angles sont peu émoussés. C'est le plus grand bloc erratique que je connaisse. Comme il n'a pas de nom particulier, et que je serai dans le cas de le mentionner encore quelquefois, je le nommerai le *Bloc-monstre*.

Le bloc granitique dit la *Pierre-du-Trésor*, sur la montagne calcaire de Plan-y-Beuf, près d'Orsières, a plus de 100,000 pieds cubes ; sa base

étant cachée par d'autres blocs, on ne peut pas évaluer exactement son volume. Le plus gros des trois énormes blocs de granite talqueux, venant de la vallée de Binnen, et situés à Steinhof près de Seeberg dans le Canton de Berne, offre un volume de plus de 61,000 pieds cubes. La *Pierre des Marmettes*, au-dessus de Monthey, a 63 pieds de longueur, 32 de largeur et 30 de hauteur. Son volume est donc de 60,480 pieds cubes. C'est un bloc de granite de la vallée de Ferret. Il y a encore dans la même localité quelques blocs de 20,000 à 50,000 pieds cubes, et un grand nombre de 8,000 à 10,000 pieds cubes. Tous ces blocs viennent de la vallée de Ferret, et ont dû faire au moins 11 lieues de chemin.

La *Pierra-Bessa* est un bloc calcaire de 42,000 pieds cubes, situé à environ 400 pieds du Bloc-monstre. Il provient également de la vallée de l'Avançon[1].

La *Pierre à Bot* au-dessus de Neuchâtel a, d'après Mr de Buch, 50 pieds de longueur, 20 pieds de largeur et 40 pieds de hauteur, par conséquent 40,000 pieds cubes. C'est un bloc de granite à petits grains des environs de Martigny.

[1] Dans mon mémoire sur le transport des blocs erratiques, le volume de ce bloc est évalué à 8 toises. Il y est dit également que le même bloc vient des montagnes qui dominent Lavey et Saint Maurice. N'ayant plus le manuscrit sous la main, j'ignore d'où a pu provenir cette double erreur.

La *pierre de Milliet*, à une demi-lieue au-dessus du village de Mont-la-Ville, au pied du Jura, est un bloc de granite de Ferret de 12,500 pieds cube s.

L'un des blocs calcaires qu'on exploite à *Pierre-Vieille*, près du Lac de Bret, pour en faire de la chaux, a 12,000 pieds cubes. Il vient des Alpes calcaires du Bas-Valais.

Enfin la *Pierre de Condy*, situé à côté du village de Provence, sur le flanc du Jura au-dessus de Vauxmarcus, est un bloc de granite talqueux de la vallée de Binnen. Son volume est de 3600 pieds.

Il serait aussi ennuyeux qu'inutile d'étendre davantage la liste des gros blocs erratiques. Ce que nous en avons dit est suffisant pour faire voir qu'il existe d'énormes blocs dans presque toutes les contrées occupées par le terrain erratique.

Mais le nombre en diminue journellement dans toutes les localités où l'industrie fait des progrès. Les défrichements en font disparaître beaucoup toutes les années. Dans les contrées où le sol consiste en molasse et où par conséquent on ne trouve pas de pierres dures, les débris erratiques sont extrêmement recherchés pour moellons, pour pierres de taille, pour meules de moulin, pour matériaux de routes, etc., En outre, les blocs

calcaires sont de plus en plus détruits par les faiseurs de chaux[1].

§. 45.

ABSENCE DE TRIAGE SELON LE VOLUME.

Le terrain erratique présente le fait remarquable que les fragments de roches dont il est composé, n'ont éprouvé aucun triage d'après leur volume; c'est-à-dire, qu'ils ne diminuent pas de volume en raison de l'éloignement où ils se trouvent du lieu de leur origine.

Ainsi, par exemple, les blocs de Steinhof près de Seeberg sont du nombre de ceux qui ont fait le plus de chemin; la bonne description que Mr Studer a donnée de la nature de la roche, m'avait fait soupçonner qu'elle pouvait bien être du granite talqueux de la vallée de Binnen. Pour m'en assurer, j'ai visité ces blocs surprenants, et j'ai en effet reconnu que cette roche est absolument celle dont sont formées les hautes montagnes qui séparent cette vallée de celle d'Antigorio[2].

[1] Depuis 27 ans que j'habite la vallée du Rhône, la diminution des blocs erratiques, par les causes que je viens d'indiquer, y est déjà bien sensible.

[2] Ce granite constitue les sommités du Pachterhorn, du Gieschenhorn, du Trifthorn et du Rämihorn.

Le chemin que ces grandes masses ont dû faire pour arriver à Steinhof, est d'environ 60 lieues. Le volume du plus gros bloc, comme nous l'avons indiqué plus haut (§. 44), est de 61,000 pieds cubes, et néanmoins ils ont tous les arêtes et les angles parfaitement conservés.

La Pierre à Bot, au-dessus de Neuchâtel, est un bloc de granite à petits grains passant à l'état de gneis. La localité la plus rapprochée où cette roche se trouve en place, est *l'arête des Follaterres* à peu de distance au nord de Martigny. Dans la supposition que ce bloc vienne de là, il a dû parcourir 22 lieues, et son volume n'est pas de moins de 40,000 pieds cubes (§. 44).

La pierre de Milliet au-dessus de Mont-la-Ville, étant du granite à gros cristaux de feldspath de la vallée de Ferret, a dû faire au moins 23 lieues pour arriver à l'endroit où elle se trouve. Son volume est de 12,500 pieds (§. 44).

Ces énormes blocs se trouvent tous sur la limite du terrain erratique, fait important à constater pour la théorie de leur mode de transport (Voy. §. 80).

§. 46.

DISPOSITION DU TERRAIN ERRATIQUE.

Les dépôts de débris erratiques se présentent

sous différentes formes. Quoique ces formes ne soient pas toujours bien tranchées, et qu'il y ait fréquemment des transitions de l'une à l'autre, on peut néanmoins les diviser en trois classes, savoir :

1) les dépôts éparpillés;

2) les dépôts accumulés; et,

3) les dépôts stratifiés.

Nous allons examiner successivement chacune de ces formes.

§. 47.

DÉPOTS ÉPARPILLÉS.

La forme que nous venons d'indiquer la première, est celle qu'on rencontre le plus fréquemment. Elle présente les fragments de roche, éparpillés sur la surface du sol, et plus ou moins espacés. Il n'est même pas rare de trouver des blocs tout-à-fait isolés.

Ces fragments sont ordinairement couverts de terre et de végétation; souvent même on ne parvient à les reconnaître qu'accidentellement par les fouilles que l'on fait dans divers buts. Cependant, lorsque de gros blocs se trouvent parmi ces débris, ils se voient fréquemment à nu, plus ou moins dégagés de terre. Cet accident se remarque

surtout dans les localités où les cultures n'ont pas encore trop changé la surface du sol. Comme, vu leur dureté et leur volume, ils auraient trop coûté à détruire, on les a souvent respectés par cette raison.

Les contrées de la Basse-Suisse où l'on rencontre encore le plus fréquemment des dépôts éparpillés, sont, par exemple, la portion du Canton de Fribourg située entre la Glane et la Sionge, le plateau du Jorat, les environs de Lassarraz, d'Orbe, de la Brétonnière, le plateau de Premier, les environs de Nyon, etc. Dans la grande vallée du Rhône, on en trouve dans les environs de Bex, de Martigny, de Sion, de Sierre, de Brigue, etc. Mais, nous le répétons, ces blocs, surtout ceux de dimension moyenne, deviennent de jour en jour plus rares par les causes que nous avons déjà indiquées (§. 44).

Nous devons encore ajouter que ces débris éparpillés sont fréquemment recouverts de diluvium. Dans ce cas, on ne peut les reconnaître qu'à la conservation des angles et des arêtes, et surtout à leur volume hors de proportion avec celui des matériaux dans lesquels ils sont ensevelis. Les ravins qui sillonnent le plateau diluvien entre le lac Léman et le Jura, (du côté de L'Isle, de Bière, d'Aubonne et de Begnins) permettent de voir cet

accident dans les couches supérieures du diluvium.

§. 48.

DÉPOTS ACCUMULÉS.

La seconde forme qu'on trouve dans la disposition du terrain erratique, est celle où les fragments, au lieu d'être éparpillés, sont réunis et accumulés en nombre plus ou moins considérable. Ces accumulations offrent exactement la même configuration et les mêmes accidents que les moraines; c'est-à-dire, qu'elles se présentent sous une forme allongée, semblable à celle d'une digue, ou qu'elles constituent des monticules coniques et isolés.

Si le sol est horizontal ou peu incliné, leur profil est celui des moraines que nous avons représentées Fig. VII. et Fig. XI. La forme des moraines multiples se rencontre souvent parmi ces accumulations. Cet accident se présente fréquemment dans les environs de Bex, de Sion, de Savièse, d'Orsières, etc.

Lorsque les dépôts accumulés se trouvent sur un terrain en pente, leur profil se rapproche de la Fig. IX. Ils forment alors des bandes ou des

écharpes longeant le flanc de la montagne qui les supporte.

Enfin on trouve aussi ces débris entassés de manière à former des monticules isolés, plus ou moins coniques. On ne saurait toujours reconnaître si ces cônes sont les restes d'un dépôt jadis plus considérable, mais disloqué et dégradé plus tard par les torrents, ou bien, s'ils ont eu cette forme dès le commencement. Dans ce dernier cas, on pourrait les comparer aux dépôts formés par les moraines superficielles (§. 20) qui, lorsqu'elles atteignent le pied du glacier sans s'être préalablement élargies, déposent leurs matériaux sur un seul point.

L'intérieur des dépôts accumulés offre jusque dans ses moindres détails la même structure que les moraines. C'est toujours un mélange confus de fragments de toutes dimensions, entassés les uns sur les autres sans ordre quelconque. Des blocs de plusieurs milliers de pieds cubes sont confondus pêle-mêle avec de menus débris, du gravier, du sable et même du limon. On n'y remarque aucune apparence de triage; le gros et le menu se rencontrent aussi bien dans la partie supérieure du dépôt que dans l'inférieure. Des fragments anguleux et bien conservés sont indistinctement mêlés avec des fragments arrondis et frottés. On n'y découvre des indices de stratification que lorsque ces dé-

pôts passent à la forme que nous décrirons dans le §. suivant.

La surface de ces amas est ordinairement couverte de terre et de gazon; çà et là de gros blocs y font saillie [1].

Les dépôts accumulés sont très-communs dans la grande vallée du Rhône et dans les vallées latérales. On les rencontre surtout sur les flancs des montagnes, où, selon le degré de pente, ils se présentent sous forme de digues ou sous celle de bandes. On en trouve encore sur le plateau du Jorat, et même dans les environs de Lausanne, où Mr Venetz a remarqué un vaste dépôt en forme de digue, qui s'étend de cette ville jusqu'au-delà de Morges.

Mais plus au nord, c'est-à-dire, dans la plaine proprement dite de la Basse-Suisse, je n'en connais pas un seul. On ne les retrouve que sur le flanc même du Jura, principalement entre Beaulmes et Concise. A l'est du premier de ces villages et à l'Ouest du second, le nombre des fragments erratiques allant en diminuant, les bandes de-

[1] Dans les contrées où le climat permet de cultiver la vigne, les dépôts erratiques sont très-recherchés pour ce genre de culture, qui y réussit parfaitement. Beaucoup de vignes de Sierre, de Sion, de Bex, d'Ollon, d'Yvorne et de Lavaux sont plantées sur ces sortes de dépôts. Vu la légèreté du sol, le raisin rouge y vient très-bien.

viennent moins considérables, et finissent par prendre la forme des dépôts éparpillés décrits §. 46.

Les dépôts accumulés sont très-fréquents et d'un volume considérable, sur le flanc des montagnes qui bordent le lac Léman au Sud. On peut les suivre dès les hauteurs qui dominent Saint Gingolph, en passant par Plan-Tholon et Saint Paul au-dessus d'Evian, jusqu'à la rencontre de la vallée de la Drance du Chablais.

§. 49.

DÉPOTS STRATIFIÉS.

Enfin la troisième forme sous laquelle le terrain erratique se présente, est celle où les matériaux sont disposés par strates ou couches. Ces couches sont ordinairement courtes et épaisses, et conservent rarement une épaisseur égale sur une étendue tant soit peu considérable. Elles se terminent promptement en coin. Le grand nombre de fragments anguleux et bien conservés que l'on trouve dans ces sortes de dépôts, est ce qui les distingue essentiellement des dépôts diluviens et alluviens, lesquels n'en renferment que peu ou point. Enfin, les dépôts stratifiés présentent tous les caractères

du diluvium glaciaire que nous avons décrit plus haut (§. 24).

Les strates sont tantôt horizontaux, tantôt inclinés parallèlement à la pente du sol sur lequel ils se trouvent. Cependant, un dépôt de ce genre situé dans les environs des bains de Lavey, et connu dans la contrée sous le nom du *Sex de terre*, fait exception à cette règle, car ses couches s'inclinent sous un angle de 40° *contre* le flanc de la montagne qui les supporte.

Les dépôts stratifiés se rencontrent à l'entrée de la plupart des petites vallées qui aboutissent à la vallée du Rhône ou aux grandes vallées latérales.

Souvent il suffit, pour occasionner cet accident, d'une légère dépression sur le flanc d'une montagne, dépresssion qui mérite à peine le nom de vallon.

Ainsi nous trouvons ces sortes de dépôts à l'entrée de la petite vallée de la Grionne, de celles de Panex, de l'Alliaz, de la Veveyse et de tous les vallons qui descendent du plateau du Jorat vers le lac Léman. Il arrive même que ces débris pénètrent assez avant dans la vallée, où ils recouvrent les flancs des montagnes dès le pied jusqu'à une grande hauteur.

On n'en rencontre point à l'entrée des grandes vallées latérales, telles que, par exemple, celles du Trient, d'Entremont, d'Hérens, de Viége, de

Binnen, etc.; mais on en trouve fréquemment dans l'intérieur de ces vallées, surtout dans les localités où elles sont rejointes par d'autres vallées.

Lorsque ces dépôts sont considérables, on les désigne dans la Suisse française par le nom de *Rouvines* (mot patois qui signifie ravin), à cause de la facilité avec laquelle les eaux y creusent des ravins. C'est à cette dernière circonstance qu'il faut attribuer ces sortes de pyramides ou de cylindres de débris, couronnés chacun d'un gros bloc, que l'on trouve quelquefois sur les flancs des grands dépôts glaciaires. On conçoit aisément leur mode de formation : le bloc préserve des pluies les débris qui se trouvent au-dessous de lui, tandis que ceux qui ne participent pas à cet abri, sont peu à peu disloqués et emportés par les eaux du ciel. Mais néanmoins les agents atmosphériques parviennent aussi à ronger insensiblement ces colonnes et à les amincir au point que, ne pouvant plus supporter le bloc qui en forme le chapiteau, elles finissent par s'écrouler. Il est rare d'en trouver qui soient entièrement dégagées et isolées : elles font ordinairement corps avec le massif de débris, c'est-à-dire, qu'elles sont en quelque sorte attachées dans toute leur hauteur à l'escarpement que présente le dépôt, de manière qu'on peut les comparer aux colonnes qui dans un édifice entrent dans les murs à la mode des pilastres.

Elles atteignent quelquefois une hauteur de 80 à 100 pieds, sur 12 à 15 pieds de diamètre. Les *rouvines* de Villars et d'Arveye, dans la vallée de la Grionne, offrent quelques unes de ces colonnes qui sont parfaitement dégagées. Mais ce sont les environs d'Useigne, en face du village de Saint Martin dans la vallée d'Hérens, qui présentent le mieux cet accident, lequel, du reste, ne peut se rencontrer que lorsque les dépôts glaciaires sont composés principalement de menus débris légèrement agglutinés par un ciment provenant de la dissolution de matières calcaires, et lorsque les gros blocs ne s'y trouvent que disséminés en petit nombre. Les *Colonnes* d'Useigne, comme on les appelle dans le pays, se trouvent précisément à l'endroit où le glacier de Lénaret se joignait jadis à celui de Ferpècle [1].

Lorsque ces dépôts renferment beaucoup de fragments de roches calcaires, la chaux carbonatée, qui se dissout par l'infiltration des eaux, donne lieu à un ciment assez abondant pour cimenter les débris, et pour changer toute la masse en une espèce de brèche caverneuse assez solide pour résister remarquablement bien à l'action

[1] Le dessin que Mr Frœbel a donné des Colonnes d'Useigne, présente très-bien cet accident.

destructive des agents atmosphériques. Les dépôts glaciaires de Stalden, de Sierre, de Chamoson, d'Orsières, de Lavey, etc., présentent fréquemment ces sortes de brèches.

§. 50.

GROUPES DE BLOCS FORMÉS DE LA MÊME ESPÈCE DE ROCHE.

L'un des faits les plus surprenants du terrain erratique est sans contredit l'accumulation ou la réunion d'un nombre considérable de blocs tous de la même espèce de roche. Ces blocs sont tantôt éparpillés sur le terrain, mais peu espacés, tantôt groupés en forme de digues, de bandes ou de monticules. Le dépôt de ce genre le plus remarquable que je connaisse, se trouve à 400 pieds au-dessus du Rhône, sur le flanc d'une montagne calcaire (Lias) près de Monthey dans le Bas-Valais. C'est une bande de gros blocs qui a de 300 à 800 pieds de largeur, et 3/4 de lieue de longueur. Elle commence à 10 minutes au-dessus de ce bourg, et s'étend horizontalement sur la pente de la montagne jusqu'aux précipices du Sex de Balme de Collombey. Elle est entièrement formée de blocs de granite à gros cristaux de feldspath, venant tous de la haute chaîne de montagnes qui

borde la vallée de Ferret du côté Nord Nord-Ouest, et qui n'est autre chose que la continuation orientale de la chaîne du Mont-Blanc. Par conséquent ces débris se trouvent à 11 lieues au moins des montagnes d'où ils ont été détachés.

Ces fragments étonnent autant par leur nombre que par leur volume. La Pierre des Marmettes dont nous avons indiqué plus haut les dimensions (§. 44), fait partie de cette bande; ce bloc est situé à-peu-près à son extrémité méridionale. Quoique sa masse soit de 60,000 pieds cubes, il y a là plusieurs autres blocs qui ne lui sont guère inférieurs en volume; beaucoup d'entreux ont de 60 à 70 pieds de longueur, de 30 à 40 pieds de largeur, et de 15 à 20 pieds de hauteur. On en trouve un grand nombre de 8,000 et de 10,000 pieds cubes.

Ce blocs ne sont pas moins remarquables par leur belle conservation. Presque tous ont encore la surface raboteuse, et les arêtes et les angles légèrement écornés. Quelques-uns sont fendus; mais la direction des fentes prouve jusqu'à l'évidence que ces ruptures sont le résultat d'une chûte, et nullement d'un choc horizontal. Un énorme bloc de 65 pieds de longueur est connu dans la contrée sous le nom de la *Pierre à Mourguets;* en tombant il a donné du coin sur un autre gros fragment, de manière qu'il s'est fendu hori-

zontalement dans toute sa partie supérieure. Une portion de l'angle est entièrement détachée, et les éclats se trouvent encore accumulés sur le bloc qui a reçu le coup.

Un très-gros bloc, appelé la *Pierre à Dzo*, d'une forme irrégulière, polyédrique, est perché sur un autre; mais il n'y est retenu que par un troisième bloc fort petit et fendu verticalement par la chûte du premier; sans cet appui il se précipiterait sur le bourg de Monthey. Il est absolument impossible qu'un choc horizontal ait produit de pareils accidents.

Je ne crois pas commettre une exagération en comptant la bande des blocs erratiques de Monthey parmi les objets les plus curieux, les plus remarquables, et les plus instructifs que l'on puisse trouver dans les Alpes. Ces blocs jetant beaucoup de jour sur la cause probable du transport des débris erratiques, nous invitons les géologues qui visitent la Suisse occidentale, à aller voir ce dépôt vraiment extraordinaire [1]. Nous recommandons également cette course aux peintres paysagistes, et à toutes les personnes d'un esprit

[1] Mr Jean André De Luc a visité les blocs de Monthey et les a le premier mentionnés dans son *Mémoire sur plusieurs espèces de roches éparses dans le bassin de Genève, pag.* 21. Malgré cette visite, il s'efforce encore de défendre l'hypothèse des courants.

assez cultivé pour aimer la contemplation des grands phénomènes de la nature et pour savoir en jouir [1].

Les environs de la Saline des Devens présentent dans une localité appelée les *vignes du Chêne*, et le long du village d'Antagne, des dépôts erratiques en forme de digues ou de bandes composées presque uniquement de la même espèce de roche. Ce sont des blocs d'un calcaire noir et compacte appartenant à la craie qui forme les hautes sommités du fond de la vallée de l'Avançon. Les blocs sont anguleux, peu usés, et les plus gros atteignent à peine 3000 pieds cubes.

Un groupe peu étendu de blocs de la même nature et de la même localité, est situé en face de ceux du Chêne sur le flanc septentrional de la petite montagne de gypse appelée le *Montet*. Ce groupe, d'une forme irrégulière, se distingue par le volume des blocs. Le Bloc-Monstre et la

[1] L'accès de cette localité ne présente aucune difficulté. Les premiers gros blocs ne sont qu'à 10 minutes de Monthey. On peut les parcourir en se promenant, et jouir en même temps d'une vue magnifique sur les hautes montagnes de Bex et sur la belle plaine du Rhône, qu'on a à ses pieds. Quoiqu'il ne soit pas nécessaire de se faire accompagner par un guide, on ne fera pas mal d'en prendre un pour éviter de perdre du temps et de manquer peut-être quelques-uns des blocs les plus remarquables, tant par leur volume que par la singularité de leur position. On pourra se procurer un bon conducteur chez Mr Pache, aubergiste à la Croix d'or à Monthey.

Pierra-Bessa en font partie (§. 44). Il est à remarquer que ces dépôts de fragments calcaires reposent en partie sur des blocs de granite, de gneis, de poudingues de Vallorsine et d'autres roches originaires du Valais.

L'énorme bloc, appelé la Pierre du Trésor, que nous avons cité (§. 44), fait également partie d'un dépôt erratique composé d'une seule espèce de roche. Cet amas de blocs de toutes les dimensions, commence presqu'au sommet de la montagne de Plan-y-Beuf, située au Sud-Sud-Ouest d'Orsières, à l'angle de jonction de la vallée de Ferret avec celle de la Drance du Saint Bernard. Il descend de là en écharpe dans la direction du Sud-Est, et se termine à peu de distance au-dessus du village de Liddes. Mais l'accumulation la plus considérable de ces débris se rencontre près de la sommité de cette montagne ; elle a un bon quart de lieue de longueur, et une largeur de 300 à 400 pieds. Elle présente l'aspect d'une moraine multiple. Les blocs dont elle se compose, sont bien conservés : ils ont la surface raboteuse, ainsi que les arêtes et les angles plus ou moins tranchants. Ils sont généralement très-gros. Il y en a beaucoup dont le volume se monte à plusieurs milliers de pieds. Le plus gros, la Pierre du Trésor, a plus de 100,000 pieds cubes. Il s'est brisé en 4 fragments, mais qui sont à peine déplacés.

La roche qui forme tous ces débris, est le granite à gros cristaux de feldspath qui constitue la chaîne de montagnes située entre la vallée de Ferret et celle de Chamounix. La position de ces blocs, à 2733 pieds[1] au-dessus du sol de la vallée de Ferret, laquelle sépare la montagne de Plan-y-Beuf de cette chaîne granitique, est tout-à-fait contraire à l'idée de feu Mr Murith[2], qui attribuait ces blocs à un éboulement parti de la Pointe d'Orny, une des sommités de cette même chaîne.

Je citerai encore un dépôt erratique que m'a fait connaître Mr Blanchet. Ces débris se trouvent dans une localité appelée le Bois de la Chaux et située sur le plateau du Jorat à une demi-lieue au-dessus de Montagny près de Lutry. Ce sont des blocs calcaires, provenant des montagnes du Bas-Valais, et gisant sur un sol de molasse. Plus ou moins espacés, ils occupent une étendue de terrain d'environ une demi-lieue carrée. Ils sont anguleux et généralement bien conservés. Leur volume n'est pas considérable : les plus gros ont à peine 3000 à 4000 pieds cubes.

Si nous ne craignions pas de fatiguer nos lecteurs, nous pourrions encore indiquer d'autres

[1] D'après les observations barométriques de Mr Baup, les Chalets de Plan-y-Beuf sont à 2583 pieds au-dessus d'Orsières qui est à 2872 p. au dessus de la mer

[2] Saussure, Voyage dans les Alpes §. 1022.

dépôts erratiques formés d'une seule espèce de roche. Mais nous pensons que les exemples cités suffisent pour faire connaître ce fait intéressant. Nous ajouterons seulement la remarque, que les fragments qui composent les dépôts d'une seule espèce de roche, sont toujours mieux conservés que ceux qui forment les dépôts de roches d'espèces diverses et par conséquent de différentes localités.

§. 51.

POSITION SINGULIÈRE DE PLUSIEURS BLOCS ERRATIQUES.

Nous allons faire connaître les positions singulières de plusieurs gros blocs erratiques, positions que l'on ne saurait expliquer par les hypothèses les plus généralement reçues sur le mode de leur transport, sans tomber dans les plus grandes invraisemblances. Ainsi par exemple, la Pierre à Bot au-dessus de Neuchâtel, se maintient en équilibre sur la plus petite de ses faces. C'est un bloc, comme nous l'avons déjà dit (§. 44), qui, d'après Mr de Buch, a 50 pieds de longueur, 20 de largeur et 40 de hauteur. Il semble, en le voyant, qu'un léger effort suffirait pour le renverser sur une de ses faces qui en effet surplombe de 25 à 30 pieds. Aucune des hypothèses proposées jusqu'à

ce jour pour expliquer le terrain erratique, ne saurait faire concevoir comment il a pu prendre cette position et s'y maintenir.

La Pierra-Bessa, près de ma demeure, présente une pyramide de 61 pieds de hauteur, dont la base est un triangle isocèle. Les deux côtés longs ont environ 58 pieds chacun, et le côté court, 32 pieds. Elle est fendue verticalement du sommet à la base. La fente est assez large pour qu'un homme puisse s'y introduire. Un fragment de moyenne grosseur, détaché de la partie supérieure est resté pris entre les parois de la crevasse. Cette rupture est évidemment le résultat d'une chûte que le bloc a faite au moment où il a pris place. Cependant il n'est pas dominé par des rochers d'où il eût pu se détacher. Nous montrerons plus loin (§. 80) comment cet accident a dû arriver, et comment les deux moitiés, quoique n'étant pas appuyées par les côtés, ont pu rester debout.

J'ai déjà fait connaître plus haut (§. 50) la singulière position de la Pierre à Dzo près de Monthey, je n'y reviendrai donc pas. Mais je mentionnerai un gros bloc calcaire de 10 à 15 pieds de diamètre situé sur le flanc méridional du monticule de Tourbillon, tout près du magasin à poudre de la ville de Sion. Il a une forme irrégulièrement arrondie, quoique sa surface ne pré-

sente pas de marques évidentes de frottement. Son diamètre est d'une dizaine de pieds. Il se trouve presque sur le bord d'une pente excessivement rapide, et n'est appuyé par trois points. L'un des appuis est un coin saillant de la roche en place, qui est un schiste talqueux fort quarzeux. Le second est également un bloc de schiste talqueux fendu du haut en bas et évidemment détaché de la roche en place. Enfin le troisième appui est un grès quarzeux, caractérisé par quelques grains de quarz rose, et que je ne connais en place qu'à cinq lieues en amont de Sion, sur la rive gauche du Rhône, en face de la ville de Louëche. Le bloc calcaire est pareillement fendu dans toute sa hauteur; l'écart entre les deux moitiés n'est que de quelques pouces. La situation de ce bloc sur le bord d'une sorte de précipice, la manière dont il est retenu en place et la direction verticale des ruptures, soit du gros bloc lui-même, soit de l'un de ses appuis, toutes ces circonstances réunies prouvent jusqu'à l'évidence qu'il n'a pas été placé là par un courant, ni brisé par un choc horizontal; mais qu'il est tombé sur la place qu'il occupe, et que c'est en tombant qu'il s'est fendu, et qu'il a cassé l'un des blocs qui le soutiennent[1].

[1] Ce bloc très-curieux par sa position, n'est qu'à un petit quart de lieue de la ville. Les personnes qui voudraient le voir, n'ont qu'à demander le chemin de la *Poudrière de Tourbillon.*

Je ne saurais passer sous silence un très-gros bloc de granite qui se trouve près d'Orsières dans une localité appelée la Li-blanche. Ce bloc est situé presqu'au sommet d'une pente rapide de calcaire talqueux, à environ 1500 pieds au-dessus du sol de la vallée. Il repose, comme sur une console, sur une saillie du rocher qui est à peine aussi large que le bloc. Quelques petites pierres lui servent de cale du côté du précipice et empêchent ainsi qu'il ne tombe. On le voit très-bien du village d'Orsières, où tout le monde le connaît sous le nom de la Pierre de la Li-blanche[1].

[1] J'ai reçu aujourd'hui (9 Novembre) une lettre de Mr le Chanoine Biselx, actuellement curé à Orsières, qui est si avantageusement connu des physiciens et des géologues, et qui, en 1829, présida de la manière la plus distinguée la Société helvétique des sciences naturelles, réunie à l'hospice du Grand Saint Bernard. Cette lettre contient des détails très-intéressants sur ce bloc erratique. Je m'empresse de les communiquer à mes lecteurs. Voici comment s'exprime cet exact observateur.

» J'arrive aujourd'hui d'une visite que j'ai faite au bloc de granite de la » Li-blanche. Sa hauteur au-dessus du fond de la vallée, pris au niveau de » ma cure, est de 529 mètres. Le volume approximatif de ce bloc est de 125 » mètres cubes. Ce qui distingue particulièrement cette pierre, c'est son gi- » sement ; elle est située sur un rocher de 45° de pente, et n'a qu'un petit ap- » pui ; on peut la considérer comme un prisme à trois faces. Ce bloc repose » sur un de ses angles. S'il n'avait été déposé là d'une manière très-lente, il » n'aurait jamais pu s'y arrêter. On est saisi d'une espèce de crainte qu'il ne » tombe, quand on passe dessous. Du côté d'en-haut, c'est-à-dire, au Sud » et à l'Est, il n'est nullement appuyé, car il surplombe d'un tiers de son vo- » lume au moins. Si l'été prochain, vous venez ici pour monter à Ornex, il

Il existe encore d'autres blocs dans des positions semblables et avec des circonstances analogues, non seulement dans différentes localités des Alpes, mais aussi sur le revers du Jura, comme par exemple entre Bonvillars et Montbourget, entre Bullet et Sainte-Croix, etc.

§. 52.

DISTRIBUTION DES FRAGMENTS ERRATIQUES SELON LES ESPÈCES DE ROCHES.

On a prétendu dès longtemps, que les fragments des diverses espèces de roches qui constituent le terrain dont nous nous occupons, ne sont pas distribués d'une manière égale ou uniforme dans la plaine de la Basse-Suisse et sur le revers du Jura; ou, en d'autres termes, qu'il y a des roches

» faudra que je vous invite à visiter ce minéral solitaire. La théorie de nos » vallées occupées par d'énormes glaciers a pour moi quelque chose de si ex- » traordinaire, que je sens une grande répugnance à y adhérer. Rien pourtant » ne me parlera aussi haut en faveur de cette opinion, que le gisement du » bloc que je viens de voir aujourd'hui. Aussi je m'empresse de vous com- » muniquer mes idées. Je pense que, dans l'intérêt de l'opinion des glaciers, » on aurait dû étudier mieux qu'on ne l'a fait l'assise des blocs erratiques com- » parée à celle des blocs qui entourent les glaciers de notre époque. Ce serait » un travail qui jetterait beaucoup de lumière sur ce point. J'ai trouvé à 240 » mètres plus bas une trentaine de blocs de granite. Quelques-uns sortent à » peine de terre; les autres sont assez proéminents.

dont les fragments sont plus fréquents dans une contrée que dans d'autres. Ainsi l'on dit que les granites et les gneis se trouvent plus fréquemment sur le flanc méridional du Jura que dans la Basse-Suisse, où, en revanche, les calcaires, les poudingues de Vallorsine, et les schistes talqueux seraient plus communs. Cette assertion n'est vraie que relativement aux blocs de gros volume. En effet, on trouve beaucoup plus de gros blocs granitiques sur la pente du Jura que dans la plaine de la Suisse, et en voici la raison qui est toute simple. D'abord l'accumulation des débris erratiques est en général beaucoup plus considérable sur le Jura, qu'elle ne l'est dans aucune contrée de la Basse-Suisse. (Nous ferons connaître plus tard la cause probable de ce fait § 80 m.) En second lieu, la bande erratique du Jura, occupant des forêts, des pâturages, et, en général, des localités peu ou point propres aux cultures, n'a guère éprouvé de dégradation surtout en présence du calcaire du Jura qui fournit une excellente pierre à bâtir. Dans la Basse-Suisse, au contraire, les débris erratiques sont tous éparpillés sur un terrain généralement susceptible de cutures de tout genre; ils y occupent des contrées populeuses, couvertes de villes, de villages, de campagnes, et dont le sol, notez le fait, étant de la molasse, ne fournit point de pierre dure. Il

n'est donc pas étonnant que les blocs erratiques soient en général plus rares dans la Basse-Suisse que sur le flanc du Jura, où ces causes de destruction n'existent guère. Leur nombre, comme nous l'avons fait observer plus haut (§. 44), a donc singulièrement diminué dans la plaine, tant par les défrichements que par les divers usages auxquels on emploie ces matériaux. Les gros blocs de granite (principalement le granite de Ferret), se prêtant très-bien à la taille, ont été de tout temps les plus recherchés, surtout pour les meules, et, par conséquent, ils sont devenus rares aujourd'hui. Les blocs de poudingue de Vallorsine sont assurément plus nombreux aujourd'hui dans la Basse-Suisse que ceux de granite et de gneis. Mais on se tromperait certainement si l'on concluait de ce fait, que le nombre des blocs de poudingue y a toujours dépassé celui des blocs granitiques; car dans les contrées où l'industrie n'a pas encore trop changé la surface du sol, on trouve encore aujourd'hui plus de blocs de granite et de gneis, que de poudingue[1]. Ces derniers doivent leur conservation dans les localités où les autres ont

[1] Lorsque le lac est très-bas, comme c'était le cas l'hiver dernier (de 1839 à 1840), on voit une quantité considérable de blocs de granite et de gneis le long du bord de la rive vaudoise, tandis qu'on n'en trouve presque plus dans les terres cultivées avoisinantes.

été plus ou moins détruits, à leur extrême dureté, qui, en rendant l'exploitation fort coûteuse, les préserve de la destruction [1].

Les gros blocs calcaires venant des Alpes sont très-rares sur le flanc du Jura [2]. Mais ils le sont également dans la partie septentrionale de la Basse-Suisse, c'est-à-dire, dans toutes les contrées éloignées des Alpes, où les débris erratiques sont cependant parvenus. Ce fait s'explique selon moi par la grande fragilité du calcaire, qui est, à quelques exceptions près, la roche des Alpes la plus fissurée et par conséquent la plus sujette à se briser facilement. Il n'est donc pas étonnant du tout que les gros blocs de cette roche soient rares à une grande distance des Alpes calcaires. Mais si les gros fragments y sont peu fréquents, les petits en revanche y sont d'autant plus communs. On en trouve beaucoup parmi les menus débris erratiques, non seulement dans toute la Basse-Suisse, mais aussi sur le flanc du Jura. Le dilu-

[1] Dans nos environs, et même dans le vignoble de Lavaux, où cependant les terres ont une bien grande valeur, j'ai vu renoncer à des tentatives d'exploitation de gros blocs de poudingue de Vallorsine, à cause de l'extrême dureté de la roche. Cette circonstance renchérissait le travail à tel point que le bénéfice qu'on espérait en retirer, n'aurait pas couvert les frais.

[2] J'ai trouvé des blocs calcaires venant du Valais, de 10 à 50 pieds cubes de volume, entre Montbourget et Bullet, au-dessus de Lignerolles, de Ballaigues, au plateau de Premier, etc.

vium de la plaine entre les Alpes et le Jura en renferme une quantité considérable. Il y a même beaucoup de localités où le nombre des galets calcaires venant des Alpes est bien plus grand que celui des galets de granite, de gneis, de serpentine, etc.

Ce que nous venons de dire des blocs calcaires s'applique aussi, mais à un degré inférieur, aux blocs de schiste talqueux et de schiste argileux. En outre, cette dernière roche est susceptible de se décomposer, surtout lorsqu'elle contient du fer sulfuré, comme cela se rencontre fréquemment.

Quant à la vallée du Rhône, nous remarquons, comme dans la Basse-Suisse, que le nombre des débris erratiques y est, dans les diverses localités, en raison inverse du développement de l'industrie, c'est-à-dire qu'il diminue à mesure que celle-ci fait des progrès. Cependant nous n'en trouvons guère dans la vaste plaine du Rhône qui s'étend, sur une longueur de 4 lieues, depuis le défilé de Saint Maurice jusqu'au lac Léman, et dont la largeur moyenne est d'environ une lieue et demie. Leur rareté dans cette plaine ne peut être attribuée à la culture des terres, puisque la plus grande partie en est restée inculte, et présente encore aujourd'hui de vastes pâturages et de grands marais. Nous essaierons plus loin de rendre raison de l'absence de débris erratiques à la surface

du sol de cette contrée (§. 80 m.). Il suffit pour le moment de remarquer que c'est principalement sur les flancs des montagnes, soit dans la grande vallée, soit dans les vallées latérales, que l'on rencontre le plus fréquemment de ces fragments. Ils y montent jusqu'à une hauteur que nous indiquerons plus loin (§. 53).

Toutes les vallées un peu considérables qui aboutissent à celle du Rhône, ont contribué au dépôt du terrain erratique. Ici se présente un fait bien remarquable, et qui mérite d'être connu. Plusieurs de ces vallées ont fourni une quantité considérable de débris, et néanmoins on n'en rencontre point sur les flancs des montagnes qui sont à l'opposite de leur entrée. De ce nombre est la vallée de la Viége qui, au bourg de ce nom, débouche à angle droit dans la grande vallée du Rhône. C'est par elle qu'ont dû passer tous les débris venant des vallées de Saas et de Saint Nicolas. On devait donc s'attendre à trouver des dépôts de l'autre côté du Rhône, sur le flanc de la montagne qui fait face à l'entrée de la vallée de la Viége. Mais il n'en est point ainsi. On y chercherait vainement des ces débris, si reconnaissables par les serpentines et les schistes talqueux du Mont-Cervin et surtout par les belles euphotides de Saas. Ces roches, après avoir atteint la vallée du Rhône, ne l'ont point traversée. Elles

se sont tournées à gauche, s'élevant sur le flanc gauche de la vallée[1] jusqu'à une hauteur de plus de 2000 pieds au-dessus du Rhône. On peut en suivre les traces, dès l'entrée de la vallée de la Viége jusqu'à la rencontre de la vallée de Tourtemagne

[1] L'absence de l'euphotide, sur le flanc de la montagne qui fait face à l'entrée de la vallée de la Viége, a été reconnue en premier par Mr de Buch. Ce fait lui fit concevoir des doutes sur l'origine des fragments d'euphotide qu'on rencontre dans le terrain erratique du bassin du Rhône. Se fondant sur une observation de Mr de Laisez, d'après laquelle cette roche doit se trouver également dans la vallée de Bagnes, Mr de Buch pensa que les fragments erratiques d'euphotides provenaient de cette dernière vallée. Cependant nous ne saurions partager l'opinion de ce célèbre géologue relativement à cette localité de l'euphotide. Nous avons des raisons de croire qu'une erreur s'est glissée dans l'observation de Mr de Laisez, ou plutôt dans les étiquettes de ses échantillons, et que cette roche n'existe pas dans la vallée de Bagnes. En effet, cette vallée a été visitée depuis plus de 50 ans, toutes les années, soit par feu Mr Abr. Thomas, soit, plus tard, par ses fils qui tous, s'occupant de minéralogie, connaissent très-bien cette roche, d'ailleurs si facile à apercevoir à cause de la belle couleur verte du diallage. Mr Venetz, étant chargé de la direction des travaux au glacier de Giètroz (§. 34), a passé plusieurs étés au fond de cette vallée et au pied des glaciers, employant ses moments de loisir à étudier la minéralogie et la flore de cette intéressante contrée. Depuis la débâcle de 1818, la vallée de Bagnes a acquis une sorte de célébrité et les minéralogistes l'ont souvent visitée. Moi-même j'y ai fait plusieurs excursions et examiné avec soin et les moraines et les alluvions, dans le but de m'assurer de l'existence de l'euphotide dans cette localité. Mais nous n'avons réussi, ni les uns ni les autres, à y trouver la moindre trace de cette roche, qui, si elle y existait, n'aurait pas échappé aux regards de tant de personnes. Comme l'euphotide à diallage vert d'émeraude n'a été trouvée en Suisse jusqu'à présent que dans les hautes montagnes qui dominent le glacier de Hohenlerch ou Allalein dans la vallée de Saas, nous pensons que les fragments erratiques de cette roche viennent tous de cette localité.

en passant par Unterbach. C'est entre Sierre et Lens qu'on commence à trouver des roches de Saas sur le côté droit de la vallée du Rhône.

Les environs d'Ayent, de Grimisuat et de Savièse, villages qui se trouvent précisément en face de l'entrée de la vallée d'Hérens, ne présentent pas non plus de débris erratiques venant de cette vallée. En revanche, on en trouve beaucoup sur le flanc gauche de la vallée du Rhône dans la direction de Vex à Nendaz.

Enfin la vallée d'Entremont a fourni une quantité considérable de débris erratiques, parmi lesquels le beau granite à gros cristaux de feldspath de la vallée de Ferret, est, sinon la roche la plus commune, du moins la plus caractéristique. La vallée d'Entremont débouche dans celle du Rhône près de Martigny, où celle-ci se coude brusquement pour se diriger contre le nord. La montagne de Follaterre ou de Foully, qui forme l'angle de ce coude, fait face à l'entrée de la vallée d'Entremont. Cependant aucun bloc de roche venant de cette dernière vallée n'a été trouvé jusqu'à présent sur le flanc de la montagne de Follaterre. En revanche on en rencontre beaucoup sur le flanc gauche de la vallée du Rhône, c'est-à dire sur le côté par lequel débouche la vallée d'Entremont. Nous essaierons plus tard d'expliquer la

cause pour laquelle les débris des vallées latérales n'ont pas traversé la vallée du Rhône (§. 80 m.).

§. 53.

HAUTEUR OU ATTEINT LE TERRAIN ERRATIQUE.

Nous allons maintenant indiquer la hauteur à laquelle le terrain erratique s'élève sur les flancs des montagnes, tant dans les Alpes que sur le Jura.

Si nous commençons notre recherche par l'extrémité supérieure du Valais, connue sous le nom de vallée de *Conches*, nous trouvons des débris erratiques déjà dans la région des glaciers, où ils se confondent avec les moraines et les lits de glaciers.

La limite du terrain erratique ne devient distincte que dans les environs de Lax et d'Aernen, où elle est à environ 2800 pieds au-dessus du Rhône. Vers le bassin de Brigue, elle descend peu à peu jusqu'à la hauteur de 2500 pieds. Elle conserve à peu près cette élévation jusqu'au-dessous de Martigny ; car c'est à Birchen, au-dessus de Viége, à Ayent, au-dessus de Sion, à Revoière, au-dessus de Martigny, que nous trouvons les débris les plus élevés. Mais dès cette dernière ville, la vallée se resserrant derechef un peu, les débris

erratiques ne tardent point à s'élever davantage sur les deux côtés de la vallée; au-dessus d'Alesse, ils atteignent presque à 3000 pieds d'élévation. Ils se conservent à cette hauteur jusques aux montagnes de Morcle et de Saint Maurice, où, la vallée venant à s'élargir considérablement, la limite de ce terrain descend rapidement. En effet, déjà au-dessus de Vérossaz, à Chessières et entre Nère et les Quaouvaz (au-dessus de Monthey) elle n'est plus qu'à 2300 pieds au-dessus du Rhône. Elle se maintient à cette hauteur, des deux côtés de la vallée, jusqu'au bassin du lac Léman. Là, sur la rive droite elle s'élève presque tout-à-coup aux chalets de la Playau au-dessus de Vevey à 2610 pieds [1], tandis que sur la rive gauche, aux rochers de Mimise, elle descend jusqu'à 2000 pieds. De là, continuant toujours à baisser, elle atteint le niveau du lac à quelque distance au-delà de Thonon.

Dans les vallées latérales du Rhône, le terrain erratique se présente de la même manière que dans la grande vallée. En effet, vers leur naissance et en général dans toute leur partie supérieure, le terrain erratique atteint les glaciers, et

[1] Les chalets de la Playau sont à 3762 pieds au-dessus de la mer, d'après les mesures barométriques de Mr Baup.

se confond avec les moraines et les lits de glaciers. Ce n'est qu'à mesure qu'on s'éloigne des hautes montagnes et qu'on s'approche de la grande vallée, que l'on trouve quelque régularité dans la manière dont le terrain erratique se termine sur le flanc des montagnes.

Ainsi, la limite du terrain erratique de la vallée d'Entremont ne commence à prendre un certain niveau qu'au-dessus d'Orsières. Là, elle s'élève sur la montagne de Plan-y-Beuf (§. 50) à 2700 pieds au-dessus du sol de la vallée. De là, elle baisse peu à peu en s'approchant de la grande vallée, à la rencontre de laquelle elle se trouve à 2500 pieds au-dessus du Rhône. Cette même disposition se reproduit près de Stalden dans la vallée de la Viége, où s'opère la jonction de cette dernière vallée avec celle de Saas. La limite du terrain erratique s'y trouve à 2500 pieds au-dessus de la Viége, et se maintient à cette hauteur jusqu'à la grande vallée. Dans la vallée de l'Avançon, cette limite se rencontre sur la montagne de Jorogne à 2300 pieds au-dessus du sol de la vallée.

Enfin quant au Jura, la limite du terrain erratique y décrit une courbe dont le sommet se trouve en face de la vallée du Rhône, sur le flanc méridional du Chasseron, à une élévation, qui, d'après les mesures de Mr de Buch, est de 3100 pieds au-dessus de la plaine. Les extrémités de

cette courbe atteignent la plaine, l'une du côté de Soleure, l'autre du côté de Gex. Si nous suivons la limite du terrain erratique dès le Chasseron en nous dirigeant vers l'Est, nous trouvons que, jusqu'à Montbourget, elle se maintient en général à la hauteur indiquée. Là elle commence peu à peu descendre en passant au-dessus de Bonvillars, de Corcelles et de Concise, d'où, en contournant le Mont d'Aubert, elle se dirige contre Moutrus et Provence. Au-dessus de ce dernier village, elle atteint presque les Prés Mourons au faite du chaînon de montagnes qui sépare le bassin du lac de Neuchâtel du Val de Travers. Mais elle ne le dépasse ni là, ni dans aucune autre localité entre Bullet et Boudry.

C'est à Boudry que le Val de Travers débouche dans le bassin du lac, et c'est par conséquent près de ce bourg que les débris erratiques sont entrés dans cette vallée et y ont pénétré jusqu'au dessus de Couvet et de Motiers. Au Chaumont près de Neuchâtel, la limite de ce terrain est, d'après Mr de Buch, à 2400 pieds au-dessus du lac. Mr Thurmann nous apprend qu'il y a encore des blocs erratiques sur le revers septentrional du Chasseral à 1100 et même à 1200 mètres au-dessus de la mer, par conséquent à 2000 et même à 2200 pieds au-dessus du lac. Cette limite n'est du côté d'Orvin qu'à 700 pieds. De là, elle descend

peu à peu en passant au-dessus de Bienne, de Grenchen, et par Oberdorf, d'où elle atteint bientôt la plaine au-dessous de Soleure.

Reprenons maintenant notre limite à son point culminant sur le revers du Chasseron près de Bullet, et suivons-la du côté de l'Ouest. De Bullet, elle se dirige vers Sainte-Croix, sans cependant atteindre ce village, et, à plus forte raison, sans s'élever jusqu'au col de Nervaux, qui sépare le vallon de Sainte-Croix du Val de Travers. Les galets de roches alpines que l'on trouve entre ce village et ce col, appartiennent au diluvium. Conservant une élévation d'environ 3000 pieds au-dessus du lac de Neuchâtel, elle passe de-là au-dessus de Beaulmes, de l'Abergement, de Lignerolles et de Ballaigues jusqu'au-dessous du village de Jougne, où elle n'est plus qu'à 1900 pieds au-dessus de ce lac, soit 2104 pieds au-dessus du Léman. A l'Ouest de Jougne, les débris erratiques entrent dans la petite vallée de Vallorbe, mais ils ne pénétrent pas jusqu'au fond. Ils ne dépassent guère la Jougnenaz, torrent qui vient du vallon de Jougne. Cet accident est fort remarquable et nous tâcherons de l'expliquer plus tard (§. 80 o.). Depuis la vallée de Vallorbe, la limite du terrain erratique passe sur les monts de la Brétonnière, à la hauteur de Premier, au-dessus de Romainmotiers et de Juriens. De là,

plus à l'Ouest, elle suit le premier plateau, qui longe le flanc du Jura au-dessus de la Praz, de Mont la Ville, de Bière, jusque près de Saint-George. De Jougne à Saint-George elle a baissé de 354 pieds, car près de cette dernière localité sa hauteur n'est plus que de 1750 pieds au-dessus du lac Léman. Elle continue à descendre sous Arzier, et, à peu de distance au Sud de Givrins, elle n'est qu'à 800 pieds au-dessus de ce lac. Mais de là elle remonte rapidement et atteint, près des Chalets du Baule au-dessous de la Dôle, une élévation d'environ 2000 pieds. Elle ne se maintient pas longtemps à cette hauteur, elle descend rapidement vers la plaine du pays de Gex, où elle est effacée par le mélange qui s'y opère entre les débris erratiques et le vaste depôt de diluvium qui longe le pied du Jura dès le lac de Neuchâtel jusqu'au Fort de l'Ecluse.

§. 54.

MANIÈRE DONT LE TERRAIN ERRATIQUE FINIT.

Nous devons encore dire un mot de la manière dont le terrain erratique se termine, c'est-à-dire de la forme sous laquelle il se présente le long de sa limite. On remarque que ce terrain finit : ou

1) par une digue ou bande; ou, 2) par un dépôt éparpillé (§. 47); ou, 3) par un mélange avec les débris évidemment déposés par les glaciers; ou enfin, 4) par un mélange avec le diluvium.

Le terrain erratique se termine ordinairement de la première manière sur le flanc des montagnes, à moins toutefois que le degré de pente ou les torrents n'aient mis obstacle à une accumulation de débris. Lorsque ces digues ou bandes rencontrent une dépression dans le flanc de la montagne, ou quelque vallon, elles sont rompues ou disloquées par les eaux, et forment fréquemment ce genre de dépôt que nous avons décrit (§. 49) sous le nom de *dépôt stratifié.*

La seconde forme se présente aussi bien sur un terrain en pente que sur un sol plat. On la rencontre fréquemment sur le flanc du Jura.

Nous avons déjà dit que, dans les hautes régions des vallées des Alpes, les débris erratiques se mêlent avec ceux que les glaciers ont déposés, de manière qu'on ne peut plus les distinguer les uns des autres, ni reconnaître la limite entre ces deux sortes de dépôts. On ne saurait donc indiquer, ni où l'une cesse, ni où l'autre commence.

La même incertitude se retrouve encore dans les endroits où ce terrain a pu être atteint par les eaux courantes, qui, ayant emporté, ou du moins déplacé les débris, les ont mêlés avec le

12

diluvium. C'est le cas aux deux extrémités du terrain erratique, c'est-à-dire, à l'Est, entre Soleure et Seeberg, et à l'Ouest, entre Gex et Genève. En effet, la masse considérable d'eau qui pendant longtemps a dû se verser dans le bassin de la Basse-Suisse, n'a pu en sortir qu'en passant par ces localités. Il n'est donc pas étonnant que le terrain erratique n'y offre pas une limite nettement tracée. On est réduit à l'y deviner, et à admettre que le terrain erratique proprement dit finit où l'on cesse de trouver des fragments bien conservés, et où l'on remarque que le triage des débris commence à s'établir selon le volume (§. 40).

§. 55.

SON ÉTENDUE.

Le Valais est, de toutes les vallées de la Suisse, celle qui a fourni le plus de débris erratiques. Mais c'est aussi celle dont les débris, dispersés le plus loin, sont par conséquent répandus sur la plus grande surface.

En effet, on en rencontre dans toutes les vallées du bassin du Rhône, et sur les flancs de ses montagnes, où ils s'élèvent à une hauteur que nous avons déjà fait connaître (§. 53).

Ils sont également dispersés sur toute la plaine entre les Alpes et le Jura, dès Soleure jusqu'aux limites orientales du Canton de Genève. Mais ils y sont distribués d'une manière fort inégale. Il y a des localités où l'on en rencontre un grand nombre, tandis qu'il y en a d'autres où les débris erratiques sont fort rares. Nous avons déjà fait remarquer (§. 52) combien la population et l'industrie ont contribué à produire cette différence. Mais ce serait une grande erreur de l'attribuer uniquement aux progrès de la civilisation; car il y a des contrées où les hommes n'ont pas encore sensiblement changé la surface du sol, et où cependant on ne trouve point ou presque point de débris erratiques. Il est possible, il est même probable que, dans la plupart de ces contrées, les débris ont été ensevelis sous le diluvium. Mais il y a d'autres localités où cette probabilité n'existe pas, et où il est évident que jamais il n'est venu de débris erratiques, quoique les accidents de terrain n'aient dû opposer aucun obstacle à leur dépôt. Nous ferons connaître plus loin comment il a pu arriver que des terrains d'une étendue considérable n'aient jamais été recouverts de débris erratiques. Enfin on sait que ce terrain atteint une grande hauteur sur le flanc méridional du Jura (§. 53). C'est sur la limite que se trouvent presque constamment le plus de débris. Ils for-

ment, depuis Provence jusqu'au-delà de Beaulmes, une large bande, rarement disloquée. Nous avons fait voir plus haut (§. 48) que, à l'exception du plateau du Jorat et des environs de Lausanne et de Morges, la Basse-Suisse ne présente pas de ces accumulations en forme de bandes ou de digues.

§. 56.

SURFACES FROTTÉES.

Les rochers qui se sont trouvés sur le passage de débris erratiques, et par conséquent en contact avec l'agent qui en a opéré le transport, présentent un accident fort remarquable en relation directe avec le phénomène qui nous occupe. Nous voulons parler de ces marques de frottement sur lesquelles nous avions déjà appelé l'attention des géologues dans notre petit mémoire de 1834 (pag. 15). Ces marques consistent dans l'usure et l'aspect lisse de la surface des rochers, et dans l'arrondissement de leurs parties saillantes. Il va sans dire qu'on ne trouve cet accident que sur les surfaces anciennes, c'est-à-dire sur celles qui, depuis le transport des débris erratiques, n'ont éprouvé aucune dégradation sensible. On rencontre ces frottements depuis le sol des vallées

jusqu'à la limite du terrain erratique. Au-delà de cette ligne, la surface des rochers est raboteuse, comme la cassure fraîche. Au fond des vallées, ou vers leur extrémité supérieure, ces marques d'usure se confondent entièrement avec les frottements produits par les glaciers (§. 17). Il est même très-important de faire observer que, à mesure qu'on s'approche du faite des hautes chaînes des Alpes, ces usures deviennent plus prononcées et, en quelque sorte, plus développées. Le Saint Bernard, le Simplon, le Saint Gotthard, le Grimsel, le Gemmi, le Col d'Anzeindaz, le Sanetz, etc. confirment cette assertion.

Les marques de frottement ne se rencontrent pas uniquement dans les Alpes. On les retrouve aussi sur le revers méridional du Jura, où elles portent le nom de *Laves*. Mr Agassiz en a donné la description[1].

On n'en observe guère dans la Basse-Suisse, parce que les rochers, y étant principalement de molasse, roche tendre et destructible, n'ont pas pu conserver leurs anciennes surfaces. Cependant la Gompholite (Nagelfluh) de ce pays en présente quelquefois. Ainsi l'on trouve des mar-

[1] Discours d'ouverture des séances de la Société helvétique des sciences naturelles réunie à Neuchâtel en 1837, pag. XI.

ques bien distinctes de frottement sur les Monts de Chardonne, sur le Pélerin, sur le Mont de Cheseaux, etc.

Les roches dures, telles que les granites, les gneis, les schistes très-quarzeux, les poudingues de Vallorsine, etc., sont celles qui présentent le mieux cet accident[1]. Lorsque la surface frottée d'une roche présente des rognons de quarz, substance qui résiste singulièrement bien à l'action atmosphérique, on reconnaît quelquefois sur ces derniers des stries tellement fines qu'il faut faire usage même de la loupe pour les bien apercevoir. Ces stries, parallèles entr'elles, et non à la pente de la montagne, mais plutôt à celle du sol de la vallée, semblent être rayées au moyen d'un fin burin. Le gneis présente cet accident à Es-Lex, à Branson, ainsi que les poudingues de Vallorsine à Diabley, etc.[2]

[1] Les localités où l'on peut l'observer sont si nombreuses qu'il serait fastidieux d'en faire l'énumération; nous nous bornerons à en indiquer quelques-unes seulement. On trouve des frottements sur le granite, à Champé, au Grimsel; sur le gneis, à Morcle, à Evionnaz, à Branson; sur le schiste talqueux quarzeux et sur la serpentine, à Zermatt, à Bagnes; sur le poudingue de Vallorsine, à la Poja de Salvan, au Diabley, à Alesse; sur le calcaire, à Saint Maurice, à Roche, etc., etc. On peut se procurer chez Mr Em. Thomas à Bex des échantillons de ces diverses roches polies.

[2] Mad. du Thon vient de faire arranger une terrasse à 600 pieds au-dessus du sol de la vallée de l'Avançon, au sommet de la forêt qui domine sa charmante campagne de Monchalet près de Bex. Le déblaiement de terres que

§. 57.

ÉROSIONS VERTICALES.

Les surfaces horizontales et frottées des rochers calcaires offrent fréquemment des creux d'une forme irrégulière de quelques pouces soit de profondeur soit de diamètre. Il n'y a pas de doute qu'ils n'aient été produits par de l'eau tombante. On en trouve sur le plateau calcaire de Vérossaz, sur celui de Saint Triphon, à Roche, à Ardon, à Sierre (du côté de Geronde), et dans nombre d'autres localités.

Les surfaces des roches calcaires situées dans le domaine du terrain erratique, présentent aussi des sillons semblables à ceux des lits calcaires

nécessitait cette terrasse, établie pour qu'on puisse y jouir de la vue magnifique qui de là s'étend sur la plaine de la vallée du Rhône, et se prolonge par-dessus le lac Léman jusqu'au Jura, a mis à découvert une portion de rocher, laquelle présente les tranches des couches calcaires qui constituent la montagne. La surface presque verticale du rocher est frottée et lissée d'une manière remarquable, et elle offre de ces stries fines et parallèles dont nous venons de parler. Comme cette surface ne se trouve plus abritée contre les agents atmosphériques par les terres et les menus débris erratiques qui l'ont préservée jusqu'à présent, il serait à craindre que ces stries ne disparussent promptement, si Mad. du Thon, aimant beaucoup les sciences naturelles et particulièrement la géologie, ne s'était proposé de les garantir de l'intempérie du temps par quelque construction appropriée à la localité.

des glaciers, pourvu que la roche présente les conditions que nous avons fait connaître plus haut (§. 35).

Nous ne saurions passer sous silence deux érosions fort remarquables, l'une près de Sion, et l'autre dans les environs de Bex. La première se trouve à l'extrémité orientale du monticule de *Château neuf*, à gauche de la route de Sion à Martigny. C'est un rocher de calcaire micacé, escarpé du côté du nord. On remarque sur le sommet une excavation en forme de cuve, d'où descend un sillon vertical, creusé dans la paroi du rocher par l'eau qui déversait de la cuve. Cette dernière a été évidemment excavée par une chûte d'eau, quoique le monticule ne soit dominé par aucune élévation d'où eût pu venir la cascade.

L'autre accident de ce genre se trouve près de la maison Bertrand, à gauche de la route de Bex à Saint Maurice. C'est également une cuve très-régulière au pied d'un rocher, sur lequel on remarque encore l'érosion verticale de la chûte d'eau qui a creusé la cuve. Ce rocher fait partie d'une butte calcaire sur laquelle il n'existe aucun courant d'eau, et où il serait même bien difficile d'en amener pour rétablir la cascade.

§. 58.

HYPOTHÈSES DIVERSES SUR LE TRANSPORT DES DÉBRIS ERRATIQUES.

Le terrain erratique a attiré depuis longtemps l'attention des géologues. En effet, parmi les révolutions qui, depuis le soulèvement des Alpes, ont encore modifié la surface du globe, il n'y en a aucune qui ait laissé des traces plus étonnantes que celle qui a produit des dépôts erratiques. La cause qui a opéré ces surprenants transports, doit avoir déployé une puissance et surtout une étendue d'action à laquelle n'atteignent pas à beaucoup près les agents dont la nature se sert aujourd'hui pour opérer des déplacements.

La quantité de fragments erratiques, le volume étonnant de beaucoup d'entreux, la distance souvent considérable des lieux d'où ils ont été détachés, les obstacles qu'ils ont dû rencontrer sur leur passage, l'élévation à laquelle on en trouve sur les flancs des montagnes, la bonne conservation de la surface et des parties saillantes d'un grand nombre de ces débris, etc., toutes ces circonstances réunies ont occupé les géologues et vivement excité leur imagination. En effet, on a proposé plusieurs hypothèses pour expliquer ce

grand et singulier phénomène, mais il n'en est aucune qui ait obtenu l'assentiment général des naturalistes, car aucune n'atteint son but. Les uns supposaient que les Alpes, en sortant du sein des eaux, avaient offert un plan incliné et uni, sur lequel les débris auraient glissé ou roulé comme le ferait un éboulement ou une avalanche sur une pente de montagnes. D'autres ont pensé que ce transport s'était effectué sur des glaces flottantes faisant l'office de radeaux. On a même imaginé des explosions gazeuses, qui, de l'intérieur de la terre, auraient amené et projeté au loin des fragments de roches étrangères à la contrée où on les trouve dispersés. L'hypothèse qui a réuni le plus de partisans, et qui, encore aujourd'hui, est admise par les plus célèbres géologues, est celle qui suppose que de puissants courants d'eau ont été la cause de ce transport.

Dans les derniers temps, on a émis l'hypothèse que ces déplacements avaient été opérés par des glaciers formés durant l'époque diluvienne.

Enfin, tout récemment on a proposé une hypothèse en quelque sorte intermédiaire entre celle du plan incliné et celle des glaciers. Elle suppose une nappe de glace sur laquelle, au moment du soulèvement des Alpes, les débris auraient glissé jusqu'aux localités où on les rencontre aujourd'hui.

Nous allons maintenant entrer dans quelques détails sur chacune de ces hypothèses, et faire connaître les principales objections auxquelles elles peuvent donner lieu.

§. 59.

PLAN INCLINÉ.

L'hypothèse qui admet un plan incliné sur lequel les débris erratiques auraient glissé, suppose que, dans les premiers temps qui ont suivi le soulèvement des Alpes, le relief de ces montagnes a dû être très-différent de ce qu'il est aujourd'hui. En effet, elle prétend que leur flanc, au lieu d'être sillonné par des vallées et hérissé d'arêtes, présentait un sol uni, descendant en pente plus ou moins uniforme du faîte des Alpes au Jura. C'est sur ce plan incliné qu'elle veut que les débris erratiques, peut-être secondés par l'eau, aient glissé jusqu'au Jura.

§. 60.

OBJECTIONS.

Il y a beaucoup d'objections à faire à cette hypothèse proposée par Mrs Dolomieu et Ebel. Nous allons en indiquer les principales.

La première se fonde sur l'insuffisance de la pente du plan incliné. En effet, si nous admettons 25 lieues comme distance moyenne du faîte des Alpes au Jura, 4,250 pieds comme la plus grande hauteur au-dessus de la mer que les débris erratiques aient atteint, et 11,000 comme l'élévation du faîte des Alpes, nombre qui dépasse considérablement la moyenne, nous trouvons que le plan incliné n'aurait eu que 1° 8' 50" de pente. A coup sûr cette inclinaison aurait été beaucoup trop faible pour que ces débris, parmi lesquels il y a des blocs de plusieurs milliers de pieds cubes, pussent glisser à des distances aussi considérables.

Ce plan aurait dû offrir du côté du Jura une surface convexe. Le sommet de la courbure aurait nécessairement été du côté du Chasseron, et les deux extrémités les plus basses se seraient trouvées, l'une dans le pays de Gex, et l'autre dans les environs de Soleure, car il aurait fallu que l'extrémité septentrionale du plan coïncidât avec la courbe que la limite du terrain erratique décrit sur le flanc du Jura. Une telle configuration du plan incliné est tout aussi peu vraisemblable que le plan lui-même. En effet, s'il avait réellement existé, il n'aurait pu être détruit que par les eaux. Dans ce cas, les vallées qui sillonnent le flanc des Alpes devraient être toutes des *vallées*

d'érosion. Eh bien, tout le monde sait que les seules vallées d'érosion qui existent en Suisse, se trouvent dans la molasse du bassin situé entre les Alpes et le Jura; que leur excavation est en grande partie antérieure au transport des débris erratiques; et que les vallées des Alpes sont toutes des *vallées de montagnes*, c'est-à-dire, des vallées formées par des ruptures. Par conséquent, ces dernières n'étant que de vastes crevasses, formées au moment du soulèvement des Alpes par la dislocation et la déchirure des couches, la supposition d'un plan uni, formant le flanc des Alpes, devient complètement inadmissible. Il y a encore d'autres considérations, les unes tirées de la distribution des débris erratiques, les autres de leur disposition et de leur existence dans les vallées mêmes, etc.; elles prouvent toutes que l'hypothèse qui nous occupe, n'explique ni le mode de transport des débris erratiques, ni les diverses circonstances qui accompagnent le phénomène même. Mais ne nous y arrêtons pas davantage; c'est d'ailleurs d'autant moins nécessaire qu'elle a été déjà réfutée par Mr de Buch, et qu'elle ne compte guère de partisans parmi les géologues.

§. 61.

RADEAUX DE GLACE FLOTTANT SUR UNE NAPPE D'EAU.

L'hypothèse qui cherche à expliquer par des radeaux de glace le phénomène qui nous occupe peut être présentée de deux manières. D'après l'une, les glaçons auraient flotté sur une nappe d'eau; selon l'autre, ils auraient été entraînés par des courants.

La première supposition réclame un lac ou plutôt une mer qui eût fait le tour de tout le système des Alpes, parce que c'est de tous les côtés que leurs vallées ont fourni des débris erratiques. Cette mer, pénétrant jusqu'au fond des vallées, y aurait atteint les glaciers, comme il arrive dans les hautes latitudes du nord. De gros fragments de glace, chargés de débris de roches et en renfermant même des blocs dans l'intérieur, se seraient détachés des glaciers, et auraient flotté sur l'eau. Poussés légèrement par les vents, un grand nombre de radeaux, après avoir franchi sains et saufs tous les défilés et toutes les sinuosités des vallées ou fiords alpins, auraient gagné le large. Arrivés là, beaucoup d'entre eux auraient continué de naviguer jusqu'à ce qu'ils se fondissent,

qu'ils chavirassent, ou échouassent. Dans la Suisse occidentale, les radeaux de glace venant du Valais et ayant heureusement traversé la mer ou le lac dès les Alpes au Jura, auraient fini par échouer sur la côte opposée, c'est-à-dire, sur le flanc du Jura, et y auraient ainsi déposé les débris dont ils étaient chargés. Enfin beaucoup de ces radeaux ne seraient pas parvenus à gagner le large. Ils auraient déjà fait naufrage dans l'intérieur des vallées, les uns au milieu de l'eau, les autres en échouant sur les bords.

Voilà l'hypothèse des radeaux de glace. A quelques invraisemblances près, elle semble en effet expliquer les principaux faits relatifs au terrain erratique. Elle ne rend pas trop mal raison de la manière dont d'énormes blocs ont pu être transportés au-delà de nos lacs, sans y être engloutis, et sans que leur surface et leurs parties saillantes aient été sensiblement endommagées ; car, quant aux blocs arrondis, on doit supposer qu'ils ont été frottés et usés déjà avant d'avoir été chargés sur les radeaux ou renfermés dans leur intérieur. Elle explique encore l'existence des débris erratiques dans les vallées et dans la plaine de la Basse-Suisse, aussi bien que sur les flancs des montagnes, et elle nous apprend pourquoi ces débris ne dépassent pas un certain niveau au-dessus du sol

des vallées. En effet, les premiers sont dûs à des radeaux qui ont chaviré au milieu de l'eau, et les autres, c'est-à-dire, ceux qui atteignent ce niveau, proviennent des radeaux qui ont échoué sur la côte. Ainsi l'hypothèse des glaces flottant sur une nappe d'eau explique d'une manière assez spécieuse les principaux faits du terrain erratique, et elle paraît d'autant plus plausible qu'elle se trouve en quelque sorte appuyée par l'observation. En effet, les navigateurs ont quelquefois rencontré dans les hautes latitudes des deux hémisphères, des glaces flottantes transportant des débris de roches. Cependant elle ne peut soutenir un examen tant soit peu approfondi, sans présenter non seulement de grandes invraisemblances, mais même des impossibilités manifestes comme nous allons le faire voir dans le §. suivant.

§. 62.

OBJECTIONS.

Les objections qui se présentent contre l'hypothèse dont il est question, se fondent d'abord sur l'invraisemblance d'un lac ou d'une mer qui, après le soulèvement des Alpes, eût entouré tout ce système de montagnes, et pénétré jusqu'au fond des

vallées de manière à en atteindre les glaciers[1]. Ces objections s'appuient encore sur la configuration des dépôts erratiques, sur leur distribution, et surtout sur la disposition de la limite du terrain erratique. C'est à l'objection tirée de cette dernière circonstance que nous allons nous arrêter un instant; car elle démontre déjà à elle seule que l'hypothèse qui nous occupe, est contraire aux loix de l'hydrostatique, et par conséquent inadmissible.

Si l'on admet la supposition d'une mer, le bord de celle-ci aurait dû coïncider avec ce qui est aujourd'hui la limite du terrain erratique, c'est-à-dire, que la ligne jusqu'à laquelle ce terrain s'élève, soit dans les Alpes, soit sur le Jura, dessinerait le rivage de la dite mer; en effet l'hypothèse avance que les débris les plus élevés sur le flanc des montagnes proviennent des radeaux échoués sur la côte. Or donc, si la limite du terrain erratique devait tracer cet ancien rivage, il faudrait qu'elle décrivît une ligne horizontale.

[1] Si le climat de la Suisse eût été assez froid pour permettre aux glaciers de descendre jusqu'au niveau de cette nappe d'eau et d'en atteindre la surface, il aurait dû y avoir aussi des glaciers sur le Jura. Dans ce cas on ne saurait concevoir pourquoi les glaciérs du Jura n'auraient pas donné lieu également à des radeaux qui, poussés par le vent du nord, eussent transporté des débris de roches jurassiques vers les Alpes, et les eussent déposés sur le flanc de celles-ci et dans la plaine de la Basse-Suisse, où cependant, comme on le sait, il ne s'en trouve point.

Mais cette ligne horizontale n'existe pas, et par conséquent la condition la plus indispensable n'est pas remplie. En effet rappelons-nous que les débris erratiques atteignent sur la montagne de la Playau, près de Vevey, à une hauteur de 3762 pieds au-dessus de la mer (§. 53), et, dans le Haut-Valais (au-dessus d'Aernen), à 5580 pieds au-dessus du même niveau. Par conséquent, la limite des débris erratiques monte de 1818 pieds depuis la montagne de la Playau jusqu'au-dessus d'Aernen. Si cette ligne devait coïncider avec le rivage du bras de mer qui, dans l'hypothèse, aurait pénétré jusque dans le Haut-Valais, ce bras de mer, au lieu d'offrir une surface horizontale, aurait présenté une surface inclinée, laquelle aurait eu, depuis le Haut-Valais jusqu'aux environs de Vevey, 1818 pieds de pente. La même difficulté se reproduit relativement au Jura, où la limite du terrain erratique décrit une courbe (§. 53) dont le sommet est sur le flanc méridional du Chasseron, et dont l'une des extrémités se trouve du côté de Soleure, et l'autre, du côté de Gex. Cette difficulté ne peut être levée par la supposition d'un affaissement ultérieur qui aurait eu lieu à l'Est et à l'Ouest du Chasseron, vu que la disposition des couches s'oppose à cette hypothèse. Or donc, pour expliquer ce fait, dans la supposition d'une mer ou d'un lac occupant la Basse-Suisse, il faudrait

admettre que la surface en eût été courbe. La ligne médiane aurait abouti au flanc du Chasseron. De là pour atteindre la plaine dans les environs de Genève et dans ceux de Soleure, la surface se serait courbée à gauche et à droite en descendant de 2850 pieds, du côté de l'Ouest, et de 2940 pieds du côté de l'Est. Il nous semble que cette seule considération suffit pour démontrer que l'hypothèse des radeaux de glace flottant sur une nappe d'eau, loin d'expliquer les faits observés, mène à des conséquences entièrement en opposition avec les lois de la physique. Il est donc évident qu'elle est inadmissible, et qu'il serait oiseux de nous y arrêter davantage [1].

[1] Depuis la redaction de ce §., je dois à l'amitié de Mr Schuttleworth la connaissance de l'important ouvrage de Mr Darwin, intitulé : *Journal of researches in geology and natural history* etc. London, 1839. L'auteur y défend avec autant de talent que d'érudition l'hypothèse que nous combattons, et qu'il applique même à la dispersion des débris erratiques en Suisse. Comme l'opinion d'un géologue aussi distingué que Mr Darwin est d'un grand poids, je crois nécessaire d'ajouter encore quelques considérations qui feront voir qu'on ne peut admettre ce mode de transport des débris erratiques, du moins pour les Alpes, sans tomber dans les plus grandes invraisemblances et sans laisser inexpliqués plusieurs faits importants. Le phénomène dont il est question, est postérieur à la configuration actuelle des Alpes : si donc nous attribuions avec Mr Darwin (pag. 619) à des glaces flottantes la dispersion des débris erratiques en Suisse, il faudrait admettre de trois choses l'une : savoir, ou, que la Suisse eût pris son relief présent sous le niveau actuel et dans le sein même de l'océan ; ou, qu'après le dernier soulèvement des Alpes, l'océan se fût élevé et eût envahi la Suisse de manière que, pour satisfaire à l'exi-

§. 63.

RADEAUX DE GLACE ENTRAINÉS PAR UN COURANT.

L'autre manière de concevoir le transport des débris erratiques par des glaces flottantes, n'admet pas un lac ou une mer entourant tout le système des Alpes, et atteignant le fond des vallées

gence des faits, la profondeur du bras de mer entre les Alpes et le Jura eût été, près du lac Léman, de 4428 pieds; ou enfin, si l'on ne voulait pas admettre un changement dans le niveau de l'Océa n il faudrait supposer que la Suisse et en général l'Europe, se fussent de rechef enfoncées sous les eaux jusqu'au niveau où l'on trouve les débris erratiques les plus élevés.

La première supposition ne peut être admise, parce qu'elle exclut la formation des glaciers, car il ne peut s'en produire sous l'eau, et parce que, sans glaciers, il n'y aurait pas eu les glaces flottantes que Mr Darwin réclame. Les deux autres suppositions offrent trop d'invraisemblance pour pouvoir satisfaire l'esprit. Mais ne nous attachons pas à ces difficultés; admettons qu'une mer ait entouré tout le système des Alpes; qu'elle ait pénétré dans les vallées jusqu'au pied des glaciers; qu'un bras de mer ait existé entre les Alpes et le Jura; en un mot, admettons toutes les conditions nécessaires pour opérer ce transport par le moyen de glaces flottantes. Dans ce cas je demanderai si jamais on a vu que les débris de roches transportés par des glaces flottantes aient formé des accumulations semblables de tout point aux moraines de glaciers, comme le sont beaucoup de dépôts de débris erratiques dans toutes les vallées des Alpes, dans les environs de Lausanne, et sur le flanc du Jura. Je demanderai encore : Pourquoi les glaces flottantes sorties des vallées du Rhône et de l'Arve sont-elles les seules qui aient atteint le Jura, et y aient déposé une quantité considérable de débris? Pourquoi aucun radeau de glace venant des vallées de la Sarine, de l'Aar, de la Reuss, de la Limmat et du Rhin n'a-t-il pu parvenir jusqu'à cette chaîne et y échouer, quoique toutes ces vallées

de cette chaîne. Elle suppose seulement qu'une immense masse d'eau se serait précipitée du faîte des Alpes, qu'elle en aurait détaché et entraîné d'énormes fragments de glace, peut-être des gla-

soient moins éloignées du Jura que ne l'est celle du Rhône? Pourquoi aucun radeau sorti d'une de ces vallées n'est-il venu se fondre ou chavirer sur le domaine d'une vallée voisine? Ainsi par exemple pourquoi ne trouve-t-on pas un seul fragment de roche venant de la vallée de l'Aar ou de celle de la Reuss dans les environs de Lausanne, ou de Moudon, ou de Payerne, ou de Morat, etc.? Pourquoi aucun radeau venant des glaciers du Jura, n'est-il venu échouer contre le flanc des Alpes? Pourquoi les glaces flottantes des vallées latérales du Valais n'ont-elles jamais traversé immédiatement la grande vallée pour déposer leur cargaison sur le flanc de la montagne en face? Pourquoi les accumulations les plus considérables de débris ne se trouvent-elles pas dans les localités où les vallées changent de direction, et où par conséquent le plus grand nombre de radeaux auraient dû échouer contre la montagne qui forme l'angle rentrant du coude? Comment expliquer par le moyen des glaces flottantes ces accumulations en forme de digues, mais qui, au lieu d'être parallèles à la direction de la vallée, lui sont au contraire perpendiculaires, et par conséquent ne peuvent être envisagées comme désignant l'ancien rivage, sortes de dépôts qui correspondent aux moraines frontales des glaciers? Comment expliquer par cette même hypothèse les érosions verticales tant en forme de sillons qu'en forme de cuves, érosions évidemment produites par des chûtes d'eau? Pourquoi la mer n'a-t-elle laissé aucun vestige de son séjour récent dans les vallées des Alpes? pas une érosion que l'on pût attribuer raisonnablement à l'action des vagues! pas un corps marin! pas un coquillage! pas même, dans quelque crevasse de rocher, quelque peu de limon, de sable ou de gravier, ayant quelque ressemblance avec le détritus que l'on trouve dans toutes les mers! Ces considérations, aussi bien que les objections que nous avons élevées dans les §§. 62 et 64 contre cette hypothèse, doivent suffire à quiconque voudra les méditer, pour le convaincre que le transport des débris erratiques, du moins en Suisse et dans les Pyrénées, ne peut pas être attribué à des glaces flottantes.

ciers entiers, chargés de roches et de pierres; enfin, que ces radeaux, venant à chavirer, à échouer, ou à se fondre, auraient ainsi déposé ces débris dans les lieux où on les observe aujourd'hui.

§. 64.

OBJECTIONS.

Cette hypothèse n'explique pas mieux les faits observés, et présente des impossibilités tout aussi évidentes, que celle des radeaux flottant sur une mer ou une nappe d'eau.

En proposant ce second mode de transport, on n'a tenu aucun compte des défilés, des sinuosités et des coudes, souvent fort brusques, de nos vallées, non plus que de la grande fragilité de la glace des glaciers (§. 8).

En effet, ces radeaux de glace chargés de blocs de toutes les dimensions, auraient été entraînés par un courant de plus de 2500 pieds de profondeur, puisque ce nombre de pieds est la hauteur où l'on trouve encore dans la grande vallée les débris erratiques au-dessus du Rhône, et notez que ce courant aurait eu une pente de trois pour mille. Or comment aurait-il été possible qu'un certain nombre de ces radeaux arrivassent sains

et saufs dans la plaine de la Basse-Suisse? A plus forte raison, comment auraient-ils pu parvenir au flanc méridional du Jura? La plupart de ceux qui seraient venus du Haut-Valais, sinon tous, auraient dû se briser contre la montagne du Col du Trient (la Forclaz) qui, près de Martigny, fait face à la grande vallée. Ces radeaux auraient dû échouer à peu près tous contre cette barre, et y déposer les débris dont ils étaient chargés. S'il en avait été ainsi, on devrait trouver d'énormes amas de roches du Haut-Valais dans le vallon dit la *Combe des Rappes*, qui conduit au col du Trient. Mais on y en chercherait en vain un seul. Jamais fragment de roche venant des montagnes du Haut-Valais[1] n'y a été trouvé, et cependant la Combe des Rappes est une des localités de la Suisse les plus fréquemment visitées par les géologues, parce que le chemin de Martigny à Chamounix suit ce vallon dans toute sa longueur.

Le même inconvénient se reproduit relativement à la vallée d'Entremont, qui a fourni considérablement de débris erratiques. Elle débouche près de Martigny dans la grande vallée du Rhône. La montagne de Foully, dont la partie moyenne

[1] Plusieurs espèces de roches du Haut-Valais sont bien faciles à reconnaître; par exemple l'euphotide de Saas, le granite talqueux de Binnen, le gneis du Grimsel, le schiste amphibolique du glacier du Rhône, etc.

s'appelle les Follaterres, et le sommet, le Sex de la Mine, fait face à son entrée. Les glaçons ou radeaux que l'on suppose avoir transporté les débris provenant des montagnes de cette vallée, auraient dû tous frapper contre le flanc de cette montagne, s'y briser et y échouer avec leur cargaison. Eh bien, sur tout le flanc de la montagne de Foully, on ne trouve aucun fragment de roches venant de la vallée d'Entremont.

Et les énormes blocs de granite de Binnen qui se trouvent à Steinhof, près de Seeberg, à 6½ lieues à l'Est de Berne, (§. 44) comment auraient-ils pu être transportés à une distance d'environ 60 lieues sur un radeau de glace très-fragile, entraîné par un courant de 175 pieds de vîtesse moyenne par seconde? Comment ce radeau aurait-il franchi l'étroit défilé par lequel la vallée de Binnen débouche dans celle du Rhône?

Enfin, on se rappelle ce groupe d'énormes blocs de granite de la vallée de Ferret, dont il a été question (§. 50), et qui, près de Monthey, occupe une bande de terrain de ¾ de lieue de longueur, sur 300 à 800 pieds de largeur. Comment ces blocs auraient-ils pu être transportés sur un radeau par le défilé étroit qui forme l'extrémité inférieure de la vallée d'Entremont? Même avant d'arriver dans cet étranglement, le radeau se serait déjà brisé infailliblement contre la montagne

d'Armensier, qui, près de Sembranchier, fait face à la vallée d'Orsières, par laquelle le radeau aurait dû nécessairement passer. Enfin, dans cette hypothèse, on fait une part beaucoup trop large à la solidité de la glace des glaciers. Il est de toute impossibilité que des fragments de glace d'un volume tant soit peu considérable soient entraînés par un courant, sans se briser au premier choc qu'ils recevraient en se heurtant soit contre un rocher faisant saillie, soit contre le flanc de la montagne qui fait face au courant dans les endroits où la vallée se coude ou change de direction[1]. Nous ne nous serions pas arrêtés aussi longtemps à la réfutation de cette hypothèse, si un célèbre géologue ne l'avait remise en faveur dernièrement.

§. 64 (bis).

GLAÇONS ENVELOPPANT DES DÉBRIS DE ROCHES.

Il y a peu de jours que j'ai eu le plaisir de faire la connaissance d'un habile géologue qui vient de

[1] Le fait suivant servira à démontrer combien est grande la fragilité de cette espèce de glace, et combien elle est peu propre au rôle qu'on veut lui faire jouer dans cette hypothèse. Nous avons dit plus haut (§. 34) que le Gouvernement du Canton du Valais, pour prévenir des inondations désas-

visiter les hautes latitudes du nord, et d'en étudier les neiges permanentes et le terrain erratique. Il m'a fait part de ses idées sur le transport des débris erratiques de ces contrées, et sur la manière dont elles pourraient servir à expliquer ce même phénomène dans les Alpes.

Pensant que cette nouvelle hypothèse offrira de l'intérêt, je vais la faire connaître dans ce paragraphe.

Ce savant voyageur attribue également à des glaces flottantes le transport des débris erratiques. Mais au lieu de supposer, comme dans les deux hypothèses précédentes, que ces glaces se seraient détachées des glaciers, et auraient opéré le transport à la manière des radeaux, il pense qu'elles proviennent de la rupture de la couche épaisse de glace dont des lacs ont dû se couvrir pendant l'hiver, et dans laquelle des fragments de roches auraient été engagés. Il admet par conséquent, que toutes les vallées qui ont fourni des débris erratiques, ont été occupées par des lacs qui se trou-

treuses, fait détruire toutes les années une portion du glacier inférieur de Giétroz, dans la vallée de Bagnes. Dans ce but, par un moyen aussi simple qu'ingénieux dû à Mr Venetz, on parvient à détacher à la fois des blocs de glace de 10,000 à 40,000 pieds cubes; ils tombent dans la Drance, et en sont entraînés. Eh bien, ces blocs se brisent si promptement que vis-à-vis du village de Lourdier, situé seulement à deux lieues du glacier, on n'en a jamais remarqué dans le torrent des fragments tant soit peu volumineux.

vaient élevés graduellement ou par étages les uns au-dessus des autres depuis la Basse-Suisse jusque dans le voisinage du faîte des Alpes. La plaine de la Basse-Suisse elle même aurait été également un vaste lac, qui aurait ainsi établi une communication par eau entre les Alpes et le Jura. Ce sont ces lacs qui ont dû se geler pendant l'hiver. Le retour de la chaleur, en occasionnant la rupture de la croûte de glace, aurait donné lieu à des glaçons flottants, qui, se précipitant d'un lac à l'autre, auraient donc transporté au loin les fragments qui devaient se trouver engagés dans leur intérieur[1].

Cette hypothèse présente de trop grandes difficultés pour que nous puissions l'admettre. D'abord rien dans les Alpes n'indique que les vallées aient été occupées par une file de lacs, qui, séparés par des barrières, se seraient élevés les uns au-dessus les autres en formant autant de gradins. Cette supposition ne s'accorderait pas même avec les idées actuellement reçues sur le mode de forma-

[1] Mr Escher de la Linth nous apprend (l. c. pag. 6) que le chevalier Venturi (dans son *memoria intorno ad alcuni fenomeni geologici. Pavia* 1817) a développé une hypothèse par laquelle il cherche à expliquer le transport des débris erratiques par des glaçons dans lesquels des fragments de roche étaient engagés. Mais n'ayant pu me procurer le mémoire de Mr de Venturi, j'ignore les rapports que son hypothèse peut avoir avec celle que je viens de faire connaître.

tion des vallées. Des lacs disposés à divers niveaux, ne rendraient pas raison de la manière dont la limite du terrain erratique se dessine sur les flancs des montagnes qui bordent les vallées, et sur le revers méridional du Jura. De plus, sans avoir recours à des froids excessifs et prolongés, comme il n'en arrive jamais dans nos climats, on ne saurait concevoir comment, dans le courant d'un seul hiver, il aurait pu se former une croûte de glace suffisamment épaisse pour envelopper des blocs de plusieurs milliers de pieds cubes, et pour donner lieu à des glaçons capables de transporter à de grandes distances ces énormes blocs de roches. Enfin, on peut, avec beaucoup de raison, faire à cette hypothèse la plupart des objections que nous avons déjà élevées contre les hypothèses des radeaux de glace ; mais il serait oiseux de les répéter ici.

§. 65.

EXPLOSIONS GAZEUSES.

Mr De Luc a attribué le phénomène des débris erratiques à des éruptions de gaz. Il a pensé que, par ces sortes d'explosions, des fragments de roches auraient été détachés de l'intérieur de la terre et projetés à de grandes distances.

§. 66.

OBJECTIONS.

La forme des dépôts erratiques, la régularité du niveau que suit leur limite sur les flancs des montagnes, la grande étendue que ce terrain présente, les accidents qui l'accompagnent, etc., ne s'accordent pas du tout avec les effets que de pareilles explosions auraient dû produire. Cette hypothèse étant insuffisante pour expliquer les faits, n'a guère trouvé de partisans. Il est donc d'autant plus inutile de nous y arrêter davantage, qu'elle a déjà été refutée par Mr de Buch dans son mémoire *sur les causes de la dispersion de gros fragments de roches alpines*, inséré dans les Mémoires de la société des Sciences de Berlin.

§. 67.

COURANTS D'EAU.

L'hypothèse qui suppose des courants d'eau pour rendre compte du phénomène qui nous occupe, est sans contredit celle qui a réuni le plus de suffrages. Elle est encore aujourd'hui généra-

lement admise, même par les géologues les plus célèbres.

Les savants qui l'ont adoptée, sont tous d'accord sur le mode de transport des débris, c'est-à-dire, qu'ils l'attribuent à d'énormes courants d'eau, sortis du sein des Alpes. Mais cette unanimité ne se retrouve pas dans la manière dont ils conçoivent la cause de ces courants énergiques. Les uns les attribuent à un déplacement subit des eaux de l'Océan; les autres, à un écoulement instantané de vastes lacs qui auraient occupé les vallées des Alpes; d'autres enfin, à une fonte soudaine des glaciers.

Nous allons d'abord exposer ces diverses hypothèses relatives à la cause des courants, et en discuter les bases. Puis nous examinerons si les phénomènes du terrain erratique peuvent s'expliquer convenablement par des courants d'eau, quelle que soit la cause de ces derniers.

§. 68.

RETRAITE SUBITE DE L'OCÉAN.

Mr de Saussure a le premier attribué à une retraite subite de l'Océan les énormes courants d'eau qui, selon lui, auraient produit ce grand phénomène géologique.

Voici comment s'explique ce célèbre géologue. » Les eaux de l'Océan, dans lequel nos montagnes » ont été formées, couvraient encore une partie » de ces montagnes, lorsqu'une violente secousse » du globe ouvrit tout-à-coup de grandes cavités, » qui étaient vides auparavant, et causa la rup- » ture d'un grand nombre de rochers. »

» Les eaux se portèrent vers ces abîmes avec » une violence extrême, proportionnée à la hau- » teur qu'elles avaient alors, creusèrent de pro- » fondes vallées et entraînèrent des quantités im- » menses de terres, de sables, et de fragments de » toutes sortes de rochers. Ces amas à demi li- » quides, chassés par le poids des eaux, s'accumu- » lèrent, jusqu'à la hauteur où nous voyons en- » core plusieurs de ces fragments épars. »

» Ensuite les eaux qui continuèrent de couler, » mais avec une vîtesse qui diminuait graduelle- » ment à proportion de la diminution de leur » hauteur, entraînèrent peu-à-peu les parties les » plus légères, et purgèrent les vallées de ces » amas de boue et de débris, en ne laissant en » arrière que les masses les plus lourdes, et celles » que leur position ou une assiette plus solide dé- » robait à leur action. » *Voyages dans les Alpes* §. 210.

§. 69.

OBJECTION.

Pour le moment, nous ne nous arrêterons qu'à ce qui, dans cette hypothèse, est relatif à la *cause* des courants. Nous ferons observer que rien n'indique dans l'intérieur de la terre l'existence de vides assez spacieux pour absorber un volume d'eau capable de faire baisser le niveau de l'Océan de 11,000 pieds, hauteur où, dans les Alpes, on trouve encore des roches sédimentaires et formées dans le sein de la mer. Au contraire, tous les faits géologiques portent à croire que le niveau de l'Océan n'a point éprouvé de changement sensible, mais que les montagnes, aussi bien que toutes les terres qui s'élèvent au-dessus de sa surface, ont été soulevées du fond des eaux. Par conséquent, on ne saurait admettre que les courants réclamés par l'hypothèse, aient pu être produits par cette cause.

§. 70.

APPARITION DU GRANITE DANS LES ALPES.

Mr de Buch, dans un mémoire lu le 31 Octobre 1811 à la société des Sciences de Berlin, et inséré

dans le recueil des mémoires de ce corps savant, pag. 161 et suivantes, appuie de ses propres observations les conclusions de Mr de Saussure, en tant qu'elles se rapportent à l'effet et non à la cause, de ces courants.

Mr de Buch y traite ce sujet avec le génie et la profondeur de vues qui caractérisent tous les écrits sortis de la plume de ce grand géologue.

Il adopte les courants du célèbre genevois; cependant diverses circonstances le font douter que la force de l'eau ait pu produire à elle seule le grand phénomène qui nous occupe. En effet, Mr de Buch suppose (p. 169) que les énormes blocs qu'on trouve sur le flanc méridional du Jura, sont sortis de la vallée du Rhône avec une telle vîtesse » qu'ils ont dû voler par-dessus le lac de Genève, » sans qu'un seul soit tombé dans la profondeur, » ou se soit arrêté sur ses bords. »

Il trouve (pag. 183) que cette vîtesse doit avoir été de 19,460 pieds par seconde, et que ces blocs, pour acquérir une vélocité aussi prodigieuse, auraient dû éprouver la pression d'une masse d'eau de 6,311,526 pieds, ce qui équivaut au tiers d'un rayon terrestre. Mais il fait observer lui-même qu'un pareil résultat est » incroyable ». » Par cette » considération, » continue-t-il, » il devient en- » fin évident que le phénomène de la dispersion » des débris erratiques du Valais, provient de

» toute autre cause que d'une éruption du Rhône » par le Jura ou par les montagnes de Saint Mau- » rice. Il est vraisemblablement dû à une cause » beaucoup plus générale ».

Mr de Buch n'indique pas d'une manière précise ce qu'il entend par cette *cause générale.* Cependant en lisant attentivement son intéressant mémoire, surtout pag. 168,174 et 183, on est porté à croire qu'il attribue le déplacement des débris erratiques à un choc (stoss) qu'ils auraient reçu par le soulèvement subit de la chaîne granitique du Mont-Blanc. En effet, l'extrémité orientale de cette chaîne atteint le Valais dans la vallée de Ferret, et la Pointe d'Ornex, dont il est question dans le mémoire cité, en fait partie.

A l'occasion de la publication d'un extrait du mémoire de Mr de Buch, dans le Tom. VII. des *Annales de Chimie et de Physique*, Janvier 1818, ce savant adressa à Mr Brochant de Villiers de nouveaux éclaircissements sur le transport des débris erratiques. Quelque temps après, une conférence relative à cet objet eut même lieu entre ces deux géologues. Un extrait de la lettre et de la conférence a été publié dans le Tome X. 1819, pag. 241 et suiv.

Mr de Buch y rectifie le degré de vîtesse des débris erratiques qu'il avait admis précédemment. Se basant sur les expériences de Mr Hook, il la ré-

duit de 19,460 pieds par seconde à 354 pieds. Voici comment en définitive Mr Brochant résume l'opinion de Mr de Buch sur le transport de ces débris.

» Les blocs de roches primitives (et autres) » que l'on trouve sur le Jura, proviennent des » Alpes ; ils y ont été poussés par un courant d'eau » analogue aux torrents actuels, mais infiniment » plus considérable, lequel, tant par son extrême » rapidité que par le mélange de la grande quan- » tité de matières terreuses qu'il tenait en sus- » pension, était capable de vaincre suffisamment » l'action de la gravité sur les blocs pour les em- » pêcher de tomber ailleurs que sur les digues » que ce courant a rencontrées dans son cours ; et » les observations faites lors de la débâcle de la » vallée de Bagne tendent à appuyer cette con- » jecture » (pag. 253).

Nous ferons voir plus loin (§. 76) que les faits observés lors de la débâcle de Bagne ne sont pas aussi favorables à l'hypothèse des courants d'eau que ce passage pourrait le faire présumer.

§. 71.

OBJECTIONS.

Il résulte bien de ce que nous venons de rapporter, que Mr de Buch n'a pas voulu attribuer

le transport des débris erratiques à un choc produit par le soulèvement ou par l'apparition subite du granite, mais bien à un courant d'eau. Nous examinerons plus loin (§. 76) si la supposition d'un courant d'eau peut expliquer les phénomènes du terrain erratique. Mais ici nous devons faire observer que son mémoire de 1811 n'a pas été bien compris par tous ceux qui l'ont étudié. En effet, j'ai rencontré plusieurs personnes qui en avaient mal saisi le sens. Elles pensaient que M[r] de Buch admettait réellement l'hypothèse du choc. C'est par cette raison que je ne crois pas superflu d'indiquer quelques faits qui font voir que cette explication est insuffisante, et même inadmissible. Si la secousse ou le choc produit par le soulèvement d'une chaîne de montagnes avait été assez violent pour communiquer à des blocs de plusieurs milliers de pieds cubes un mouvement latéral, une sorte de projection horizontale, capable de les lancer à plus de 25 lieues, distance de la chaîne granitique de Ferret à la Pierre à Bot au-dessus de Neuchâtel, on ne saurait concevoir pourquoi cet énorme choc n'aurait pas imprimé en même temps, du moins à quelques-uns de ces blocs, un mouvement ascensionnel, semblable à celui que les volcans communiquent aux pierres qu'ils projettent de leurs cratères. Dans ce cas, nous devrions trouver des blocs er-

ratiques épars sur les sommités des montagnes et à toutes les hauteurs de leurs flancs, ce qui cependant ne s'observe pas du tout (§. 53).

Nous objectons encore à cette hypothèse la grande hauteur des montagnes qui se trouvent entre le Jura et l'endroit où l'on suppose que le choc doit avoir eu lieu. Ainsi, en supposant que le soulèvement de la chaîne granitique de la vallée de Ferret ait communiqué aux débris de roches la projection horizontale que l'hypothèse réclame, nous rencontrons des montagnes fort élevées sur la ligne de direction que les blocs auraient dû suivre pour se rendre jusqu'au Jura. Catogne, le Sex d'Armensier, le Mont de Charavex, le Salantin, la Dent du Midi, la Montagne de Foully et la Dent de Morcles, voilà autant de barrières que n'auraient pu franchir ces blocs projetés à peu près horizontalement. De plus, la vallée de Ferret n'a pas seule fourni les débris erratiques du bassin du Rhône. Toutes les vallées du Valais y ont contribué. Il est donc absolument impossible de concevoir comment un choc aurait pu imprimer aux blocs de ces diverses localités un mouvement horizontal qui les eût lancés à des distances de plus de 60 lieues, en leur faisant parcourir non pas des lignes droites, mais des lignes fréquemment brisées.

Bien plus, le terrain erratique n'est point par-

ticulier au bassin du Rhône; il est commun à toute la chaîne des Alpes, car on le rencontre sur les deux versants de ces montagnes. Il faudrait donc que ce choc, ayant ébranlé tout le système des Alpes, eût communiqué aux blocs du versant septentrional un mouvement horizontal dans la direction du Sud au nord, et à ceux du versant méridional, un autre mouvement semblable, mais dans la direction inverse.

Enfin, ces débris ont constamment suivi la direction des vallées, et par conséquent les sinuosités et les contours qu'elles présentent. Comment donc admettre, sans tomber dans la plus grande invraisemblance, que ces blocs aient pu être projetés horizontalement, et cela dans des directions fréquemment coudées? Ainsi par exemple l'énorme bloc de Seeberg, ce bloc de 60,000 pieds cubes, qui vient de la vallée de Binnen, et qui a fait environ 60 lieues de chemin, aurait changé au moins cinq fois de direction, dont deux en sens entièrement inverse. Ces considérations doivent suffire pour faire voir que l'hypothèse du choc est également inadmissible.

§. 72.

RUPTURE DE LACS.

Dans un mémoire lu à la société helvétique des sciences naturelles le 28 Juin 1819, et inséré dans le volume I. de la *Nouvelle Alpina*, mon vénérable ami, feu Mr Escher de la Linth, a exposé les principaux faits du terrain erratique de la Suisse, et fait connaître son opinion sur la cause de ce transport. Il adopte également l'hypothèse des courants. Pour se rendre compte de l'origine de cet agent énergique, il suppose que les grandes vallées qui débouchent dans la plaine de la Basse-Suisse, ont été fermées à leur entrée par les *chaînes extérieures des Alpes* (äusseren nordwestlichen Alpenketten; mém. §. 28), de manière à p ésenter des lacs. Ces barrières s'étant tout-à-coup rompues, les lacs, en s'écoulant avec une vîtesse qu'il estime avoir été pour le lac du Valais de 175 pieds par seconde (l. c. §. 32), auraient entraîné les débris de roches, et les auraient déposés dans les lieux où on les observe actuellement. Un fait remarquable, que Mr Escher de la Linth avait le premier observé et consigné, consiste dans l'absence du mélange des débris qui sont sortis des diverses grandes vallées. Pour expliquer cet

accident, il suppose que la rupture des barres de toutes ces vallées a eu lieu au même instant à la fois. De cette manière, chacune des débâcles partielles aurait empêché celle de la vallée voisine d'empiéter, pour ainsi dire, sur son terrain, sur son domaine.

Dans l'opinion de ce géologue, la barre qui aurait occasionné le lac du Valais, aurait existé près de Saint Maurice, entre la Dent de Morcle et la Dent du Midi. La profondeur de ce lac aurait été de 5000 pieds (l. c. §. 31). Quant aux autres vallées débouchant dans la plaine de la Basse-Suisse, la profondeur présumée de leurs lacs n'est pas indiquée, non plus que la position de leurs barres.

§. 73.

OBJECTIONS.

On peut faire à cette hypothèse les mêmes objections qu'à toutes celles qui admettent des courants d'eau. Pour le moment je me bornerai à examiner seulement s'il est probable qu'il ait existé des barrages et par conséquent des lacs tels que l'hypothèse les réclame.

Les chaînes extérieures des Alpes, qui devraient avoir formé ces barres, sont toutes calcaires.

la profondeur de ces divers lacs doit é fort grande, c'est-à-dire de plusieurs ieds, la barre de chaque vallée a dû offrir asse de roches considérable. En effet, la du Valais aurait dû avoir au moins 5,000 de hauteur, sur une longueur moyenne de 00 pieds, et sur une épaisseur proportionnée c. §. 31). On conçoit donc aisément que la struction de ces énormes barres, aurait dû fourir une quantité extraordinaire de débris calcaires, ce qui cependant ne s'observe pas.

D'ailleurs, le phénomène géologique qui nous occupe, n'est point limité aux Alpes de la Suisse. Les Alpes tyroliennes, bavaroises et autrichiennes, ont toutes fourni des débris erratiques, aussi bien que les grandes vallées du versant méridional de ces montagnes. Il faudrait donc supposer que les grandes vallées de tout le système des Alpes auraient été barrées à leur embouchure. Une pareille disposition ne s'accorde guère avec le mode de formation des vallées, tel que l'état actuel de la géologie le fait concevoir. D'ailleurs, je ne connais aucun fait qui tende à faire supposer que jamais ces sortes de barrages aient existé. De plus, même en admettant l'existence de ces barres, comment expliquerait-on la cause de leur rupture soudaine, instantanée? Comment surtout ces ruptures auraient-elles pu avoir lieu au même ins-

tant et à la fois dans toutes les vallées des Alpes ? Enfin nous allons faire voir que la supposition de l'écoulement subit d'un lac est insuffisante pour rendre raison du transport des débris erratiques. En effet, lorsque la barrière d'un lac vient à se rompre, le courant profond et puissant que l'hypothèse réclame, ne se forme qu'en aval de la brèche, et à une petite distance en amont. Ce n'est donc que sur la contrée située en aval de la rupture que l'eau, s'échappant soudainement du bassin, exerce son action, et produit tout son effet destructeur. Elle y déplace et entraîne tout ce qui est susceptible d'être emporté. Elle y creuse de profonds ravins, et dès que sa force diminue, elle dépose peu à peu ces débris. Mais le bassin proprement dit, c'est-à-dire la localité même qui a été occupée par le lac, n'éprouve point de ces dégradations. Le mouvement d'eau qui s'y opère, ne consiste que dans un abaissement plus ou moins rapide de la surface du lac, incapable de déplacer de gros débris et de les emporter. Le lac du Giètroz dans la vallée de Bagnes (§. 34) nous a fait connaître l'effet que peut produire l'écoulement soudain d'une grande masse d'eau. Au moment de la rupture de sa barrière de glace (le 16 Juin 1818), il avait trois quarts de lieue de longueur, et plus de 200 pieds de profondeur devant la barre. Feu Mr Escher de la Linth es-

time le volume d'eau de ce lac à 600,000 toises cubes de 1000 pieds chacune. Cette masse d'eau se vida en moins de 20 minutes. On se rappelle encore les ravages affreux que cette débâcle fit en aval de la barrière jusqu'à la rencontre de la vallée du Rhône, où les eaux pouvant se répandre, perdirent de leur force. Eh bien, la localité qui avait été couverte par le lac n'avait pas éprouvé la plus légère dégradation. Le fond du lac était un vaste pâturage, connu sous le nom de *Plan Durand*. A l'exception du voisinage immédiat de la rupture, l'eau en s'écoulant n'avait nulle part entamé le terrain, elle n'avait seulement pas enlevé le gazon, ni même amené du gravier ou du sable. Les chalets de Torrembey, grossièrement construits en pierres sans mortier, se trouvaient sous l'eau dans le lac à deux portées de fusil en amont de la brèche ; ils étaient placés de manière à se rencontrer exactement dans la direction qu'y prit le courant. Et pourtant, aucun de ces chalets n'a été renversé, preuve incontestable que, dans le bassin du lac, le courant a dû être très-faible.

Lorsqu'en Janvier 1836 on baissa de 120 pieds le niveau du lac de Lungern par le moyen d'une galerie établie dans ce but, le bassin occupé par le lac n'éprouva pas non plus de dégradation. Les éboulements, peu considérables du reste, qui

eurent lieu sur quelques points de ses bords, n'arrivèrent que plusieurs jours après l'écoulement des eaux, et n'étaient point l'effet du courant.

Nous sentons bien que le volume d'eau des lacs de Gjètroz et de Lungern est infiniment petit en comparaison de la masse d'eau qu'on suppose avoir rempli le Valais. Néanmoins, cette expérience, quoique faite sur une très-petite échelle, est assez concluante pour faire voir que l'hypothèse en question exagère singulièrement la force de l'action que l'abaissement des eaux d'un lac s'écoulant soudainement peut exercer sur le sol et sur l'enceinte du bassin. En effet, il est impossible que ce mouvement ait eu assez de force pour transporter du fond des vallées des blocs aussi gros que ceux qu'on trouve parmi les débris erratiques venant du Valais. Enfin, supposé que la barrière du lac du Valais eût existé près de Saint Maurice, entre la Dent de Morcle et celle du Midi, ce lac n'aurait pu pénétrer dans les vallées de l'Avançon, de la Grand'Eau, d'Illiez et de la Tinière, qui toutes débouchent dans la grande vallée *au-dessous* de Saint Maurice, et par conséquent *en aval* de la barrière présumée. Et pourtant ces vallées ont toutes fourni des débris erratiques. Le bloc-monstre des Devens, de 161,000 pieds cubes (§. 44), est sorti de la vallée de l'Avançon. Ces diverses considérations ne me

permettent pas de partager la manière de voir de feu mon respectable ami Mr Escher sur la cause du transport des fragments erratiques.

§. 74.

FONTE DE GLACIERS.

Mr Elie de Beaumont adoptant également l'hypothèse des courants, voit leur principale cause dans la fonte soudaine des glaciers, qui, au moment du soulèvement de la chaîne principale des Alpes, ont couvert les montagnes existant déjà en Suisse par suite du soulèvement des Alpes occidentales. Voici comment ce célèbre géologue s'exprime dans une note au bas de la pag. 285 de son ouvrage *sur les Révolutions de la surface du globe*, ouvrage qui a fait dans la science de la géologie la révolution la plus grande, la plus générale, et en même temps la plus salutaire.

» Les effets des courants diluviens », dit Mr de » Beaumont », sont beaucoup mieux connus que » leur origine. On ne doit pas perdre de vue qu'au » moment de la convulsion qui a donné son relief » actuel à la chaîne principale des Alpes (du Va- » lais jusqu'en Autriche), la contrée au milieu de » laquelle elle parut, présentait déjà de très-hau-

» tes montagnes, puisque le système des Alpes occidentales existait depuis longtemps, et n'était » baigné, au moins dans une grande partie de ses » contours, que par les eaux de quelques lacs » d'eau douce, élevés eux-mêmes au-dessus des » mers d'une quantité plus ou moins grande. Les » neiges dont ces hautes montagnes ne pouvaient » manquer d'être couvertes, ont dû être fondues » en un instant par les gaz auxquels est attribuée » l'origine des dolomies et des gypses, et les eaux » provenant de leur fusion ont sans doute concouru, et peut-être pour beaucoup, à la production des courants diluviens des Alpes. » — « La » chaîne des Pyrénées au contraire, si remarquable par la simplicité, et, si l'on peut s'exprimer ainsi, par l'unité de sa structure, semble s'être élevée en *une seule fois* du milieu de » dépôts horizontaux, et, selon toute probabilité, » du fond même des mers où s'étaient formés les » derniers d'entr'eux; aussi ne présente-t-elle pas, » au moins sous une forme bien marquante, le » phénomène des grandes pierres transportées. » Mr de Charpentier ne l'y mentionne pas; Mrs » Dufrénoy et de Billy m'ont assuré ne l'y avoir » jamais remarqué.

§. 75.

OBJECTION.

Nous admettons avec Mr Elie de Beaumont la présence, dans les Alpes occidentales, de glaciers antérieurs au soulèvement qui a donné à la chaîne principale des Alpes son relief actuel. Nous admettons de même la possibilité d'une fonte subite de ces glaciers par l'action des gaz chauds qui ont changé des couches calcaires en dolomie et en gypse. Enfin nous ne voulons pas élever ici les objections que comporte toute hypothèse qui explique par des courants d'eau la dispersion des débris erratiques.

Mais nous objectons à l'hypothèse de la fonte des glaciers, qu'elle attribue à une cause trop spéciale et trop locale un phénomène aussi général que celui du terrain erratique. Comment, par exemple, pourrait-on l'appliquer aux Pyrénées? Si l'on s'en tenait au silence que j'ai observé sur ce terrain dans mon *Essai sur la constitution géognostique des Pyrénées*, si l'on se fondait sur cette seule circonstance que Mrs Dufrénoy et Billy ne l'y ont pas remarqué, on pourrait, il est vrai, penser avec Mr Elie de Beaumont qu'en effet le

phénomène n'existe pas dans ces montagnes, du moins sous une forme bien prononcée.

Mais ce qui fait que je ne saurais admettre les conclusions de ce savant, c'est que le terrain erratique se rencontre également dans les Pyrénées. Il y existe même sur les deux versants. Les vallées qui prennent naissance sur le faîte de la chaîne ou sur les arêtes des rameaux les plus élevés, ont à peu près toutes fourni des débris erratiques[1]. Il est très-vrai que je n'en ai point

[1] Les vallées les plus occidentales, telles que celles de Bastan, de Baigorry, de Louzaide, de Soule, etc., ne paraissent pas avoir fourni de ces débris. Aussi ces vallées prennent-elles naissance dans la partie la plus basse des Pyrénées, où le faîte de la chaîne ne dépasse guère une hauteur moyenne de 1500 à 2000 pieds. La première vallée du côté de l'Ouest où l'on trouve le terrain erratique, est la vallée d'Aspe. Mais il y est peu étendu, et n'atteint point la plaine située au pied de la chaîne. La vallée d'Ossau en a fourni considérablement; car on trouve des dépôts erratiques non seulement sur les flancs des montagnes qui bordent cette belle vallée, mais aussi dans la plaine où elle débouche. Ainsi par exemple, les environs, d'Arrudy, de Meyrac, de Sevignac, de Buzy, etc., en présentent beaucoup. On rencontre, parmi ces débris, d'énormes blocs de la roche porphyroïde décrite dans mon *Essai*, pag. 157, roche qu'on ne connaît pas en place ailleurs qu'au Pic du Midi d'Ossau, qui s'élève au fond de cette vallée (ces blocs avaient déjà attiré l'attention de Mr Palassou). Les environs de Lestelle, de Saint Pé, de Peyrouse, de Lourdes, de Julos, etc., offrent une quantité considérable de fragments de roches qui sont sortis de la grande vallée de Lavedan, et parmi lesquels on reconnaît un grand nombre de blocs venant de la montagne de Vignemale. Ces blocs ont dû faire de 12 à 15 lieues de chemin. Le même phénomène s'observe dans les vallées de Campan et de Labassère. Au-dessous de Sarancolin dans la vallée d'Aure, on trouve des blocs de granite du Port de Clara-

donné de description; je me suis seulement contenté de le mentionner pag. 549, sous le nom vague de *terrain de transport*. Le motif de cette omission volontaire a été précisément l'ignorance complète où je me trouvais relativement à la cause du transport de ces débris. Je ne pouvais pas imaginer qu'ils eussent glissé sur un plan incliné, dont je ne voyais plus de trace, ni qu'ils eussent été amenés sur des radeaux de glace; je pouvais encore moins me persuader que l'eau eût pu transporter d'énormes blocs à plus de quinze lieues, sans les user, sans en frotter la surface et sans en arrondir les parties saillantes. Et cepen-

bide et des blocs de grauwacke du Pic d'Aiguillons. Les vallées de Larboust, de Luchon et d'Arran ont fourni beaucoup de ces débris. On en trouve non seulement sur les flancs des montagnes qui encaissent ces vallées, mais aussi dans les environs même de Saint Bertrand et de Labroquère, où l'on observe des blocs volumineux de granite; les gros cristaux de feldspath qu'il renferme font reconnaitre qu'ils viennent des montagnes du Port d'Oo. La vallée du Sallat contient également des fragments erratiques jusqu'aux environs de Saint Martory. On y reconnait les ophites de Saint Lary, les poudingues rouges de la Val-Longue, les granites de Castillon, etc. Mr Picot de Lapeyrouse a déjà décrit le terrain erratique de la vallée de l'Arriège, dans ses *Fragments de la Minéralogie des Pyrénées*. Près des villages d'Olbier, de Goulier et de Sem, on remarque à 700 et même à 800 pieds au-dessus du sol de la Vallée de Vicdessos, de gros blocs de granite, de gneis, de calcaire saccaroïde, dispersés sur un sol calcaire, et offrant les positions les plus bizarres. Des dépôts semblables se retrouvent près de Rabat et de Banat dans la vallée de Gourbit. Enfin si ma mémoire ne me trompe pas, je crois me souvenir d'avoir trouvé des blocs éparpillés dans les vallées de l'Aude, de la Teta et du Tech.

dant, à l'époque où je parcourus les Pyrénées, il y a de cela plus de 30 ans, j'avais encore une si haute opinion de la toute-puissance de l'eau, que je croyais tout de bon qu'avec quelques gros torrents et quelques mille siècles, je serais venu à bout de creuser toutes les vallées de cette chaîne de montagnes.

Le terrain erratique existe donc dans les Pyrénées comme dans les Alpes. Il s'y présente sous les mêmes formes, et y est accompagné des mêmes accidents. Toute la différence qu'il peut y avoir, ne consiste que dans son étendue, laquelle est plus considérable dans les Alpes que dans les Pyrénées. Nous en indiquerons plus tard la cause (§. 82).

Si l'on admet, comme on aurait raison de le faire, que les débris erratiques de ces deux systèmes de montagnes aient été transportés de la même manière et par les mêmes causes, il faut admettre aussi qu'au moment du soulèvement des Pyrénées, la contrée occupée par cette chaîne, présentait déjà des montagnes couvertes de glaciers, comme cela peut avoir eu lieu dans les Alpes. Mais les recherches de Mr Elie de Beaumont ont démontré que, lors du soulèvement des Pyrénées, il n'existait point de montagnes dans les localités qu'elles occupent aujourd'hui, et que

cette chaîne semble s'être élevée » *en une seule fois* du milieu des dépôts horizontaux ».

D'ailleurs, si le transport des fragments erratiques eût eu lieu au moment de l'apparition de cette chaîne de montagnes, ces débris devraient être recouverts par des dépôts tertiaires, puisque la révolution qui a soulevé les Pyrénées, a eu lieu entre la formation de la craie et celle des terrains tertiaires. Mais rien de tout cela n'y a été observé. Le terrain erratique des Pyrénées n'est point recouvert par des roches tertiaires; sa formation y date de la même époque que dans les Alpes, et appartient, comme partout ailleurs, à la période diluvienne.

Il résulte de ces considérations que le phénomène qui nous occupe, ne peut pas avoir été causé dans les Pyrénées par une fonte subite de glaciers.

Mais comme le terrain erratique y est contemporain de celui des Alpes; comme il présente les mêmes accidents, et que les deux systèmes de montagnes ne sont pas fort éloignés l'un de l'autre, on est fondé à croire que la cause de la formation de ce terrain a été aussi la même dans l'une et dans l'autre contrée. Par conséquent, il faut la chercher dans un autre agent que dans l'eau provenant de la fonte d'anciens glaciers.

§. 76.

OBJECTIONS A TOUTE HYPOTHÈSE ADMETTANT DES COURANTS.

Nous venons de faire connaître les diverses hy-hypothèses qui admettent des courants. Nous ne les avons examinées successivement que sous le rapport de la cause à laquelle chacune attribue la masse d'eau dont elle a besoin. Maintenant, nous allons faire voir qu'il n'y a pas une hypothèse basée sur des courants d'eau, quelle que soit la cause de l'origine de ceux-ci, qui puisse expliquer d'une manière satisfaisante le phénomène qui nous occupe.

Les défenseurs des courants allèguent toujours en faveur de leur opinion les effets de l'inondation de la vallée de Bagnes en 1818. Ils citent les blocs de granite[1] qui se trouvent dans une localité appelée la Contamine, sur le bord gauche de la Drance, à 3,000 pieds en amont du Bourg de Martigny, et que l'on a crus avoir été tous amenés par la débâcle. Mais il n'y a que cinq de ces blocs qui aient été charriés réellement par l'eau, et

[1] Le plus gros de ces blocs, qui avait 10,000 pieds cubes, n'existe plus. On l'a déjà détruit en le convertissant en pierres de taille pour des constructions.

cela seulement dans un trajet d'environ 1800pieds. Ils se trouvaient, avant la débâcle, sur le bord du torrent, au-dessous du village du Brocard, précisément à l'endroit où son lit encaissé par des rochers est le plus étroit, et où par conséquent le courant avait le plus de force. L'immense quantité de bois que la débâcle poussait devant elle [1] dut singulièrement favoriser le transport de ces blocs, qui probablement, sans cette circonstance, n'auraient pas été déplacés. Nous devons encore faire observer que les gros débris se sont arrêtés à l'instant où le lit a commencé à s'élargir ; d'ailleurs le transport de ces matériaux n'a eu lieu qu'au fond du courant, et en aucune manière dans sa partie supérieure, ni vers les bords; car aucun gros bloc n'a été trouvé à quelque éloignement du lit ou cours ordinaire du torrent.

Bien plus, dans les rues du Bourg de Martigny, situé à environ 10 pieds au-dessus de ce même lit,

[1] La débâcle emporta un nombre prodigieux de chalets, de granges et de maisons (tout le village de Champsec), toutes construites en bois. Elle déracina et entraîna aussi une grande quantité de gros arbres. Cette masse de bois fut encore augmentée considérablement par les arbres et les fascines dont les habitants de la vallée s'étaient servis pour élever le long de la Drance de fortes digues, espérant, par ce moyen, mettre leurs propriétés à l'abri de l'inondation. Mais aucune de ces constructions ne put résister à la force de l'eau. Elles furent toutes enlevées, et loin de diminuer le mal, elles ne firent que l'aggraver, en augmentant de beaucoup la masse déjà énorme de bois que l'eau poussait devant elle, et à laquelle rien ne put résister.

et à 3000 pieds en aval de la Contamine, le courant avait $9^{1}/_{2}$ pieds de profondeur, et assez de force pour emporter nombre de maisons et de granges. Néanmoins il n'y amena que du limon fin, et point de gros débris, pas même du sable, quoique la localité où la débâcle venait de déposer des blocs de plusieurs toises cubes, ne fût que peu éloignée.

La même chose eut lieu dans la ville de Martigny, située à un quart de lieue au-dessous du Bourg. L'eau atteignit dans les rues à 10 pieds de hauteur, et le dépôt qu'elle y laissa, n'était non plus qu'une masse considérable de limon très-fin.

Ces faits, qu'on peut encore vérifier aujourd'hui, prouvent que les courants ne charrient de gros débris qu'au fond de leur lit et nullement à la surface. On ne saurait donc concevoir, comment une débâcle quelconque aurait pu déposer sur la montagne de Plan-y-Beuf, dans la vallée de Ferret, à 2700 pieds au-dessus du sol de la vallée, des blocs de plus de 100,000 pieds cubes; et notez bien que cette vallée prend naissance au faîte des Alpes et qu'elle n'a que $3^{1}/_{2}$ lieues de longueur.

La débâcle de Bagnes, si souvent citée en faveur de l'hypothèse des courants, nous démontre encore qu'une masse d'eau en mouvement dépose les gros matériaux qu'elle charrie, dès que

son cours s'élargit. Ainsi, ayant une fois atteint la Basse-Suisse, le prétendu grand courant diluvien du Valais aurait dû déposer tout de suite les gros débris qu'il amenait, et non pas leur faire traverser toute cette plaine pour les pousser sur le flanc du Jura jusqu'à une hauteur de plus de 3,000 pieds.

Nous avons dit plus haut (§. 40) qu'un des caractères qui distinguent les débris erratiques des débris du terrain diluvien, consiste dans l'absence complète d'un triage des fragments selon leur volume. Pour éluder cette difficulté, l'hypothèse prétend que la débâcle a été tellement prompte, et a eu une si grande vîtesse, que les matériaux qu'elle transportait, n'auraient pas eu le temps d'obéir à la gravité et de se séparer suivant leurs volumes. Mais cette supposition ne peut pas être admise. En effet, on conçoit bien que différentes causes puissent produire subitement un énorme courant d'eau; mais l'imagination n'en voit aucune qui puisse le faire cesser tout-à-coup. Une débâcle peut se terminer promptement, mais jamais instantanément. C'est au moment où le courant se met à diminuer, que le triage dont nous parlons, commence à s'opérer. Nous avons remarqué ce fait, non seulement lors de la débâcle de Bagnes, mais dans toutes les autres grandes inondations dont nous avons été

témoin. Ainsi, dans le cas spécial qui nous occupe, le courant diluvien du Valais, que l'on suppose avoir atteint le flanc du Jura avec une force capable de transporter des blocs de plusieurs milliers de pieds cubes, aurait dû déposer les plus gros blocs à l'instant où sa vîtesse se serait ralentie; avançant toujours, il aurait continué à charrier et à déposer plus loin des débris d'un volume de plus en plus petit, à mesure que sa vîtesse et par conséquent sa force seraient allées en diminuant. De cette manière, le terrain erratique ne devrait présenter sur sa limite que de menus débris; mais on sait qu'il n'en est point ainsi, et que l'on trouve sur cette limite d'aussi gros blocs que partout ailleurs.

Pour appuyer l'hypothèse des courants, on a toujours cité la circonstance que, sur le flanc du Jura, la plus grande accumulation de fragments erratiques se rencontre précisément en face de l'entrée de la vallée du Rhône. Le fait est parfaitement vrai. Mais nous ne croyons pas que l'on puisse en tirer un argument en faveur de cette hypothèse. Bien au contraire, il fournit plutôt une forte objection contre le transport des débris erratiques par une débâcle.

En effet, lorsqu'un courant charrie des matériaux, et qu'il vient frapper à angle droit contre une digue, ce n'est certainement pas sur la place

frappée que se formera le plus grand dépôt, mais à quelque distance à droite et à gauche de cette place, là où le courant a perdu de sa force. Par conséquent, si la dispersion des débris erratiques avait été opérée par des courants, la plus grande accumulation de ces débris sur le Jura ne devrait pas se trouver précisément vis-à-vis de la vallée du Rhône, sur le flanc du Chasseron, mais à droite et à gauche de cette localité. Cependant on sait qu'il n'en est point ainsi.

Les défenseurs des courants leur attribuent une vîtesse suffisamment grande pour que les blocs qu'ils auraient amenés fussent arrivés au Jura sans toucher terre, et par conséquent sans frottement notable qui eût pu user leur surface et arrondir leurs parties saillantes. Les uns portent cette vîtesse à 175 pieds par seconde; d'autres à 354 pieds. D'après la quantité considérable de ces débris, et le volume prodigieux d'un grand nombre d'entr'eux, ou pourrait s'attendre à trouver sur la portion du flanc du Jura qui fait face à la vallée du Rhône, les traces qu'aurait dû laisser le choc de tant d'énormes blocs projetés avec une si grande vîtesse, traces que le temps n'aurait certainement pas pu effacer. On devrait s'attendre encore à n'y trouver que de menus débris, parce que les gros blocs, arrivant avec une si grande rapidité, et frappant avec tant de force

contre les roches du Jura, auraient dû être pulvérisés. Mais rien de pareil ne s'y observe. Les rochers du flanc du Chasseron, qui, se trouvant vis-à-vis de la vallée du Rhône, auraient reçu tous ces chocs violents, n'offrent cependant pas de marques de dégradation plus prononcées que les rochers des autres parties du Jura; et quant aux blocs mêmes, ils ne présentent non plus rien de particulier, car on en trouve d'aussi grands et d'aussi petits que dans les autres contrées où l'on remarque le terrain erratique.

Pour rendre compte du fait que les blocs de granite et de gneis sont aujourd'hui plus communs sur le Jura que dans la plaine de la Basse-Suisse, accident que nous avons expliqué plus haut (§. 52), l'hypothèse que nous combattons, suppose que les fragments de ces espèces de roches auraient occupé de préférence la surface du courant, si je puis m'exprimer ainsi. Elle trouve la cause par laquelle ces blocs ont pu arriver à cette partie supérieure du courant, dans l'élévation des montagnes, de granite et de gneis, qui en effet sont généralement plus hautes que les montagnes formées par d'autres espèces de roches. Pour les maintenir à la surface, elle suppose le courant si épais et si chargé de débris, que ces blocs ne pouvaient pas s'y enfoncer.

» Mais, » demande Mr. Studer (*Monogr. de la Mo-*

lasse pag. 209) » la consistance épaisse et boueuse
» de ces courants, que l'on admet pour diminuer
» l'effet de la gravité des blocs de granite, com-
» ment peut-elle s'accorder avec leur énorme vî-
» tesse horizontale? » (354 pieds par seconde
d'après Mr de Buch, et 175 pieds d'après Mr
Escher de la Linth).

Nous devons relever une erreur partagée par beaucoup de personnes, erreur qui consiste dans l'opinion que de gros blocs de roche peuvent se maintenir, sans s'enfoncer, sur des courants boueux, et flotter en quelque sorte à la surface. Cette erreur est due uniquement à une simple illusion. Nous avons été plusieurs fois témoin de grandes coulées de boue, chargées de beaucoup de débris[1]. Dans ces occasions, nous avons vu des blocs de plus de cent pieds cubes se maintenir complètement sur la surface du courant. Au premier abord on aurait dit que ces blocs flottaient réellement; mais en les examinant de près, on ne tarda pas à reconnaître qu'ils ne flottaient pas du tout, mais qu'ils étaient tous supportés par d'autres débris, sur lesquels, poussés par le courant, ils cheminaient comme sur des rouleaux. En effet, dès que

[1] Les plus grandes coulées de boue et de débris que j'aie eu ocassion d'observer, sont celles qui eurent lieu en Août et en Septembre 1835 par suite des éboulements de rochers et de glace survenus successivement près de la sommité de la Dent du Midi.

cet appui venait à leur manquer, ils s'enfonçaient instantanément.

Dans l'hypothèse qui nous occupe, il faudrait admettre, ou qu'avant l'arrivée des éboulements de granite et de gneis, la débâcle aurait déjà acquis une vîtesse assez grande pour empêcher ces blocs d'aller au fond; ou bien, qu'avant d'être atteint par ces éboulements, le courant aurait déjà été tellement chargé de débris, que ces blocs de granite n'auraient pu s'y enfoncer. Mais comme les débris erratiques se trouvent à deux mille et quelques cents pieds d'élévation sur les flancs des montagnes, il aurait fallu que la vallée du Rhône et toutes ses vallées latérales eussent été occupées par un courant de deux mille et quelques cents pieds de profondeur, ayant, en nombre d'endroits, de $^{3}/_{4}$ à $1^{1}/_{2}$ lieue de largeur. Ce courant aurait dû être doué, ou d'une vîtesse assez grande pour contrebalancer l'effet de la gravité de blocs, ou d'une consistance assez épaisse pour empêcher ces énormes blocs de s'enfoncer et d'aller au fond. Il faudrait même, pour satisfaire à l'exigence des faits, qu'il eût eu déjà au fond des vallées, presque au faîte même des Alpes, cette énorme vîtesse ou cette consistance extraordinaire.

Cette dernière supposition réclame une masse de matériaux qui, lorsqu'on y réfléchit, effraie l'imagination. C'est donc avec raison que Mr

Studer demande : » Qu'est devenu le reste des dé-
» bris qui auraient rempli nos vallées jusqu'à une
» grande hauteur, et dont ces blocs n'auraient
» formé que la plus petite portion ? Le déblaie-
» ment de ces matériaux par des courants arrivés
» postérieurement, suppose des révolutions tout
» aussi formidables que la première débâcle elle-
» même; et les gros blocs exposés à un frotte-
» ment continuel n'auraient pu conserver leurs
» arêtes ».

Soit qu'on admette de l'eau peu chargée, mais douée d'une vîtesse extraordinaire, soit qu'on lui attribue une consistance épaisse et par conséquent un mouvement moins rapide, l'hypothèse reste également insuffisante pour expliquer le transport des fragments erratiques. En effet, si une pareille débâcle avait eu lieu, elle n'aurait pu transporter que fort peu de débris dans la Basse-Suisse et sur le Jura; car, à son débouché dans le bassin du lac, elle aurait rencontré une barrière qu'elle n'aurait pu franchir avec tous les matériaux qu'elle amenait. Cette barrière est le plateau du Jorat. Sa partie la plus élevée, le Pélerin, est, d'après les mesures barométriques de Mr Baup, à 2154 pieds au-dessus du lac, et à-peu-près en face de la vallée du Rhône. Ce petit système de montagnes se trouve donc précisément dans la direction que le courant aurait dû suivre. Par

conséquent, les débris suspendus et transportés dans le courant à une hauteur moindre que 2154 pieds au-dessus du sol, n'auraient pu dépasser le Jorat. Ils y auraient été retenus et auraient encombré toute la partie orientale du lac. Si le courant avait été boueux, l'encombrement aurait été encore plus considérable. Mais rien de pareil n'y est arrivé; car il n'existe dans cette contrée aucune accumulation extraordinaire de débris erratiques [1].

Si le phénomène qui nous occupe était réellement dû à des courants, nous devrions trouver des amas considérables de fragments erratiques dans le fond de la petite vallée de Vallorbe; car elle est sans contredit la localité la plus propre par sa situation à recevoir et à retenir les matériaux amenés des Alpes par une débâcle venant choquer contre le flanc du Jura. Il suffira de jeter un coup d'œil sur la carte pour reconnaître

[1] Les débris erratiques de la vallée de l'Aar s'élèvent sur les flancs des montagnes à plus de 1680 pieds, car ils atteignent et dépassent même le col du Brunig. Ceux qui se trouvent dans la partie inférieure de la vallée et dans la plaine de la Basse-Suisse ont dû passer par dessus les lacs de Brienz et de Thoun, en les traversant dans toute leur longueur. L'hypothèse des courants ne saurait expliquer comment ces matériaux auraient pu franchir ces bassins sans s'y arrêter et les combler. La configuration de la vallée aurait dû favoriser singulièrement ce dépôt, parce qu'elle se coude à l'approche de chacun de ces lacs.

la vérité de cette assertion. Cependant aucun fragment erratique n'a atteint le fond de ce joli vallon (§. 53). L'hypothèse des courants n'explique pas davantage la bonne conservation d'un grand nombre de blocs, surtout des blocs de gros volume. En effet, qu'on modifie comme on le voudra et la vîtesse et la consistance des courants, qu'on fasse projeter les blocs en direction horizontale sans les faire toucher terre, ou bien qu'on les fasse rouler dans la boue, on ne pourra parvenir par aucun de ces moyens à expliquer la conservation de la surface et des parties saillantes de blocs de 60,000 pieds cubes, ayant fait plus de 60 lieues de chemin.

Il en est de même de la forme et de la situation des dépôts accumulés (§. 48). Comment en effet des courants auraient-ils pu former des accumulations de débris en forme de digues ou de bandes, longeant en lignes parallèles les flancs des montagnes, et se trouvant placées à différents étages qui se correspondent ordinairement sur les deux côtés de la vallée? Pourquoi, à l'exception des environs de Lausanne et du plateau du Jorat, ces courants n'ont-ils pas formé de dépôts de ce genre dans la plaine de la Basse-Suisse? Pourquoi les retrouve-t-on sur le flanc du Jura?

Comment une débâcle peut-elle occasionner des

dépôts tantôt sans trace de stratification, tantôt distinctement et régulièrement stratifiés ?

Comment surtout expliquer par des courants d'eau ces groupes étonnants de gros blocs tous d'une même espèce de roche ? (§. 50). Ainsi par exemple, comment une débâcle aurait-elle pu amener dans une même localité cette quantité considérable de blocs de granite de Ferret, qui, au-dessus de Monthey, occupent sur le flanc de la montagne une étendue de terrain de $^{3}/_{4}$ de lieue de longueur, sur 300 à 800 pieds de largeur? Comment une débâcle aurait-elle pu les déposer sans les mélanger avec d'autres débris, qui nécessairement devaient se trouver simultanément dans le courant. Cette même difficulté se reproduit pour le groupe de blocs calcaires des Devens et du Bois de la Chaux ; pour ceux de blocs granitiques de Plan-y-Beuf, de Steinhof, etc., etc.

Voudrait-on peut-être supposer que chaque groupe fût dû à un seul bloc amené par la débâcle, et brisé sur la place même où se trouvent aujourd'hui ces accumulations surprenantes ? Dans ce cas, on serait forcé d'admettre que le bloc qui, en se brisant, aurait fourni les énormes fragments du groupe de Monthey, aurait eu $^{3}/_{4}$ de lieue le longueur et quelques cents pieds de largeur. Mais pousser les suppositions aussi loin,

c'est les pousser au-delà des limites de toute vraisemblance, et même de la possibilité.

Comment pourrait-on expliquer par des courants la position singulière de plusieurs blocs erratiques perchés les uns sur les autres et se maintenant en équilibre par de bien faibles appuis? (§. 51). Comment se rendre compte des blocs fendus verticalement dans toute leur hauteur, évidemment par l'effet d'une chûte?

Si l'hypothèse dont il est question, peut expliquer tant bien que mal les surfaces frottées des rochers (§. 56) elle se trouve complètement en défaut lorsqu'il s'agit de rendre raison des érosions verticales produites par des chûtes d'eau (§. 57).

Enfin, si nous voulions entrer dans le détail des observations locales, nous rencontrerions à chaque pas des faits qui, sans tomber dans des invraisemblances effleurant l'absurde, restent inexplicables par l'hypothèse des courants d'eau.

Au reste, les objections que nous venons de présenter doivent suffire pour démontrer le peu de fondement de l'hypothèse que nous avons cherché à combattre. Nous sommes même convaincu que son insuffisance sera reconnue par quiconque l'examinera avec un esprit impartial, dégagé de préjugés, et capable d'abandonner des opinions

avec lesquelles il s'est familiarisé plutôt par habitude que par réflexion.

§. 77.

NAPPE DE GLACE.

Si nous voulions continuer l'examen des diverses hypothèses relatives au transport des débris erratiques, en suivant à-peu-près l'ordre dans lequel elles ont été successivement émises, nous devrions traiter maintenant de celle qui attribue à des glaciers la cause de ce phénomène. Mais comme cette hypothèse nous occupera plus que les autres, nous avons préféré déroger à l'ordre chronologique, et nous examinerons dès à présent l'hypothèse la plus récemment publiée.

Cette hypothèse, au lieu d'admettre un plan incliné de roche (§. 59), suppose un plan incliné de glace, sur lequel les débris erratiques auraient glissé des Alpes au Jura.

Elle a été proposée par Mrs Schimper et Agassiz. Le premier la fit connaître le 15 Février 1837 dans son ode, intitulée *die Eiszeit.* Mr Agassiz l'exposa le 24 Juillet de la même année dans son discours d'ouverture des séances de la Société helvétique des sciences naturelles, réunie à Neuchâtel. C'est à ce discours, imprimé dans les

Actes de la 22e session de cette société, que nou emprunterons tout ce qui est relatif à l'exposition de cette hypothèse. Mr Agassiz admet qu'*avant* le soulèvement des Alpes, un abaissement de température s'est étendu du pôle nord jusqu'aux bords de la Méditerranée et de la mer Caspienne. Voici comment s'exprime ce savant naturaliste, pag. XXIII.

a[1]) »Comme le développement de la vie indi- » viduelle est toujours accompagné de celui de la » chaleur, que sa durée établit un certain équi- » libre plus ou moins durable, et que sa fin pro- » duit un froid glacial, je ne crois donc pas sortir » des conséquences que les faits permettent de dé- » duire, en admettant que sur la terre les choses » se sont passées de la même manière : que la » terre, en se formant, a acquis une certaine » température très-élevée, qui est allée en dimi- » nuant à travers différentes formations géologi- » ques ; que pendant la durée de chacune d'elles, » la température n'a pas été plus variable que » celle de notre globe depuis qu'il est habité par » les êtres qui s'y trouvent, mais que c'est aux » époques de disparition de ses habitans qu'a eu

[1] Nous marquons par des lettres les passages extraits du discours de Mr Agassiz, afin d'en faciliter la citation.

» lieu la chûte de la température, et que cette
» chûte a été au-dessous de la température qui
» signale l'époque suivante, et qui s'est relevée
» avec le développement des êtres apparaissant
» nouvellement. Si cette manière de voir est vraie,
» et la facilité avec laquelle elle explique tant de
» phénomènes inexplicables jusqu'ici, me fait pen-
» ser qu'elle l'est; si cette manière de voir, dis-
» je, est vraie, il faut qu'il y ait eu à l'époque
» qui a précédé le soulèvement des Alpes et l'ap-
» parition des êtres vivant maintenant, une chûte
» de température bien au-dessous de ce qu'elle
» est de nos jours. Et c'est à cette chûte de la
» température qu'il faut attribuer la formation
» des immenses masses de glace qui ont dû re-
» couvrir la terre partout où l'on trouve des blocs
» erratiques avec des roches polies comme les
» nôtres ».

b) » Cette accumulation de glace au-dessus de
» tous les bassins hydrographiques de la Suisse se
» conçoit aisément quand on pense que les lacs
» une fois gelés jusqu'au niveau de leurs débou-
» chés, les eaux courantes ne s'écoulant plus, et
» celles du ciel accrues par les vapeurs des régions
» méridionales qui, dans des circonstances pa-
» reilles devaient se précipiter abondamment vers
» le nord, en ont rapidement augmenté l'étendue
» et rehaussé le niveau jusqu'à la hauteur qui a

» été constatée par les faits déjà énoncés ». (Pag. XXIV.)

c) » L'apparition des Alpes, résultat du plus » grand des cataclysmes qui ont modifié le relief de » notre terre, a donc trouvé sa surface couverte » de glace au moins depuis le pôle nord, jusque » vers les bords de la Méditerranée et de la mer » Caspienne. Ce soulèvement, en rehaussant, bri- » sant, fendillant de mille manières les roches » dont se compose le massif qui forme mainte- » nant les Alpes, a également soulevé les glaces » qui le recouvraient; et les débris détachés de » tant de fractures et de ruptures profondes se ré- » pandant naturellement sur la surface inclinée » de la masse de glace appuyée contre elles, ont » glissé sur sa pente jusqu'aux points où ils se » sont arrêtés, sans s'arrondir, puisqu'ils n'é- » prouvaient aucun frottement les uns contre les » autres et qu'en se heurtant ils se repoussaient » facilement sur une pente aussi lisse; ou bien » après s'être arrêtés, ils ont été portés jusques » sur les bords ou dans les fentes de cette grande » nappe de glace, par l'action particulière et les » mouvemens propres à l'eau congelée, lors- » qu'elle subit les effets des changemens de tem- » pérature, de la même manière que les blocs » de rocher tombés sur des glaciers sont poussés » sur leurs bords par suite des mouvemens con-

» tinuels qu'éprouve leur *glace* en se *ramollissant* et
» en se congelant alternativement aux différentes
» heures de la journée et dans les différentes sai-
» sons ». (Pag. XXV.)

§. 78.

OBJECTIONS.

Les trois passages que nous venons de transcrire du discours de Mr Agassiz, ont rapport à trois objets distincts.

Le premier (*a*) traite de l'abaissement de la température. Le second (*b*), de la formation de la glace, et le troisième (*c*), de la part que cette glace a prise au transport des débris erratiques.

Nous allons examiner maintenant chacun de ces passages.

Il résulte du premier (*a*), que Mr Agassiz suppose qu'*avant* le dernier soulèvement des Alpes, les êtres vivant alors se sont éteints, et que la température s'est abaissée. Par conséquent, ce n'est pas la révolution à laquelle les Alpes doivent leur relief actuel, qui doit avoir produit l'extinction des êtres vivants et l'abaissement de température.

Nous aurions cependant désiré que Mr Agassiz eût motivé son opinion en faisant connaître les

faits qui l'ont engagé à penser que l'extinction de ces êtres et l'abaissement de la température ont *précédé* le soulèvement des Alpes. Ce savant ne dit pas non plus si les deux premiers phénomènes ont dû arriver simultanément, ou successivement; dans ce dernier cas, on ignore auquel des deux on doit accorder l'antériorité. On n'apprend pas si des rapports doivent exister entr'eux, ou s'ils doivent être entièrement indépendants l'un de l'autre. En effet, si l'un doit être le résultat de l'autre, on ne comprend pas bien lequel est cause, et lequel est effet. On se demande : Est-ce le froid qui a tué ces êtres, ou est-ce leur mort qui a produit le froid?

Enfin, ni le passage transcrit, ni le reste du discours ne satisfont la curiosité du lecteur désireux de connaître la cause qui a fait cesser ce froid épouvantable, et ramené un climat plus doux.

Malgré ces observations, nous sommes bien éloigné de nier un abaissement de température, quoique nous ne l'admettions pas à un degré aussi considérable que Mr Agassiz. Mais nous ne saurions concevoir pourquoi il serait arrivé *avant* le soulèvement des Alpes? Par conséquent, nous persistons encore dans l'opinion exprimée dans notre mémoire de 1834, que cette chûte de température n'a eu lieu qu'*après* la catastrophe qui a

donné à ces montagnes leur relief actuel, et qu'elle en a été même un des résultats. Devant revenir sur ce sujet, nous ne nous y arrêterons pas davantage pour le moment.

Le second passage (*b*) expose la manière dont Mr Agassiz se représente l'origine de la nappe de glace que son hypothèse réclame.

Il suppose que les lacs de la Suisse ont gelé jusqu'au niveau de leurs débouchés, de manière que » les eaux courantes et celles du ciel, » ne s'écoulant plus, ont dû rapidement augmenter l'étendue de la glace des lacs et en rehausser le niveau à la hauteur nécessaire pour satisfaire à l'exigence des faits.

Les débris erratiques s'élevant sur le flanc du Jura à 3,100 pieds au-dessus de la plaine (§. 53), il faudrait donc supposer que la glace dans les bassins hydrographiques de la Basse-Suisse aurait atteint cette hauteur. Mais une aussi énorme accumulation de glace n'aurait pu s'opérer dans le courant d'un hiver. Il aurait fallu une longue suite d'années pendant lesquelles aucun dégel n'eût eu lieu même en été. Il aurait fallu de plus un froid excessif pour congeler tous nos lacs, car à l'exception de quelques bas-fonds sur ses bords et de son rétrécissement entre Yvoire et Genève, le lac Léman ne gèle jamais, quoiqu'il y ait eu des hivers où le thermomètre centigrade, aussi

bien à Vevey qu'à Genève, est descendu à 25 degrés. Il faudrait donc un froid excessif pour opérer la congélation seulement superficielle d'un lac aussi profond que celui du Léman. Mais si un froid aussi intense avait eu quelque durée, il aurait tari complètement les eaux courantes[1]. La glace du lac n'aurait pas non plus reçu d'accroissement par les eaux du ciel, puisqu'il ne pleut pas à une température basse. Enfin, la neige même n'aurait pu l'augmenter considérablement, parce que, durant un grand froid, il neige fort rarement, et peu à la fois. D'ailleurs, la neige couvrant la surface du lac n'aurait pu former la nappe de glace que l'hypothèse exige. Elle aurait formé une nappe de neige, trop tendre et trop raboteuse pour permettre à des débris de roches d'y glisser à de grandes distances.

Ces objections doivent suffire pour faire voir que le mode de formation de la nappe de glace que suppose Mr Agassiz, présente trop d'impossibilités pour que nous puissions l'admettre.

[1] Dans les hivers longs et rudes comme par exemple celui de 1829 à 1830, et même dans les hivers secs sans être bien froids, comme l'était l'hiver dernier (de 1839 à 1840), le Rhône devient guéable près du territoire des Communes de Bex, d'Ollon, et même plus bas. Nos grands torrents, comme l'Avançon, la Grionne et même la Grande Eau, diminuent tellement que, sans le retour du dégel, ils seraient à sec avant le mois de Juin.

Enfin, dans le troisième passage (*c*), ce savant expose la manière dont il conçoit le transport des débris erratiques par le moyen de la nappe de glace. Il suppose qu'au moment de l'apparition des Alpes, cette glace a été également soulevée, et inclinée de telle sorte que les débris provenant des ruptures et des fractures de tant de roches brisées ont dû glisser facilement sur sa surface en pente » jusqu'aux points où ils se sont arrêtés, sans s'ar- » rondir, puisqu'ils n'éprouvaient aucun frotte- » ment les uns contre les autres, et qu'en se heur- » tant ils se repoussaient facilement sur une pente » aussi lisse ». Ceux de ces débris qui se sont ar- » rêtés en chemin ont été portés jusques sur les » bords ou dans les fentes de cette nappe de glace », par un mouvement que Mr Agassiz compare à celui des glaciers.

Ce mode de transport oblige d'admettre que la nappe aurait été percée dans toute son épaisseur, au moins par le faîte des Alpes, car, sans cette condition, les fragments de roches n'auraient pu parvenir à sa surface. Il va sans dire que ce plan incliné a dû aboutir à la ligne que la limite du terrain erratique décrit sur le flanc du Jura.

En évaluant la hauteur moyenne de la haute-chaîne des Alpes à 11,000 pieds, la plus grande élévation des débris erratiques sur le flanc du Jura (revers du Chasseron), à 4,250 pieds au-dessus

de la mer, et la distance moyenne entre le faîte des Alpes et le Jura à 25 lieues, on trouve que la nappe de glace n'aurait eu que 1°, 8', 50" d'inclinaison. Cette pente est certainement trop faible pour que des blocs à surface raboteuse, à arêtes et à angles vifs et tranchants, aient pu y glisser à des distances aussi grandes. En effet, qui a jamais vu glisser des blocs sur les glaciers même les plus inclinés, même au moment où leur surface est dégarnie de neige et bien durcie par le froid, comme cela arrive quelquefois vers la fin de certains automnes? Dans le cas où l'on aurait recours à quelque choc pour expliquer le départ des blocs, nous aurions de la peine à concevoir la cause de ce choc, et la manière dont il aurait pu communiquer à ces débris une impulsion à-peu-près horizontale, sans fracturer et bouleverser la nappe de glace.

Mais supposons que ce mode de transport ait pu réellement s'effectuer. Dans ce cas il est bien clair que les débris partant des divers points des Alpes auraient suivi la ligne de plus forte pente pour se rendre de côté du Jura. S'il en avait été ainsi, on devrait rencontrer l'accumulation la plus considérable des granites de Ferret du côté de Montricher; des poudingues de Vallorsine, entre la Coudre et Romainmotier; des euphotides de Saas, dans les environs de Neuchâtel; des

granites de la vallée de Binnen, du côté de Bienne, etc. Cependant on n'observe rien de semblable. Ces diverses roches sont dispersées sans la plus légère apparence d'une distribution régulière.

Si cette nappe de glace avait existé, le soulèvement des Alpes y aurait occasionné nombre de ruptures et de crevasses, dans lesquelles il serait tombé beaucoup de débris. Nous devrions donc trouver dans l'Oberland Bernois des fragments de roches appartenant à la haute chaîne comprise entre le Velan et le Saint Gothard, parce que les débris venant de ce côté du Valais, en suivant la ligne de plus forte pente, auraient passé par-dessus cette portion du Canton de Berne. Mais jusques à présent on n'a trouvé dans aucune vallée de l'Oberland Bernois des fragments des roches originaires de ces montagnes.

Pourquoi les blocs des vallées de la Sarine, de l'Aar, de la Reuss et de la Limmat n'ont-ils pu atteindre jusqu'au Jura ? Pourquoi trouve-t-on si peu de roches de la vallée du Rhin dans la Basse-Suisse, et dans ce cas, seulement dans les environs et sur la rive droite du lac de Zurich ?

Pourquoi les limites du dépôt erratique du Valais décrivent-elles sur le flanc du Jura une courbe, et non une ligne horizontale, comme on devrait l'attendre d'une nappe de glace formée par l'accumulation des eaux qu'un froid rigoureux

aurait empêchées de s'écouler des bassins hydrographiques de la Basse-Suisse? (§. 53.)

Pourquoi la plus forte accumulation de débris se rencontre-t-elle au sommet de cette courbe et dans son voisinage, quand la portion de la nappe qui y aurait abouti, aurait eu cependant la pente la moins rapide?

Pourquoi ce sommet se trouve-t-il précisément en face de la vallée du Rhône, qui cependant n'aurait pu exercer aucune influence sur la configuration de la nappe de glace? En effet cette vallée, étant produite par le soulèvement des Alpes, n'aurait pas existé lors de la formation de la nappe, puisque celle-ci doit être antérieure à l'apparition de ces montagnes.

Si nous adoptions l'hypothèse que nous discutons, nous serions bien embarrassé pour répondre à ces questions, auxquelles on pourrait encore en ajouter d'autres non moins difficiles. Pour rendre raison des marques de frottement sur les rochers, Mr Agassiz (discours pag. XXVI), attribue à la nappe de glace un mouvement qu'il compare à celui des glaciers, et auquel il assigne la même cause, savoir la congélation de l'eau absorbée. Mais son mode de formation, devant provenir de la congélation des lacs, des eaux courantes et de celles du ciel, exclut toute idée de glacier, puisqu'une masse d'eau congelée ne peut jamais

prendre cette dernière forme; en effet s'il en était ainsi, les lacs glacés des Pyrénées et les marais congelés du nord de la Sibérie et de l'Amérique seraient depuis longtemps convertis en glaciers. Par conséquent, cette nappe ne peut être un glacier : elle ne peut être qu'une masse de glace ordinaire, quoiqu'on la fasse absorber de l'eau, se mouvoir, transporter des blocs sur ses bords, et polir des roches. D'un autre côté, de la glace ordinaire, c'est-à-dire, une masse d'eau congelée, ne peut absorber de l'eau, ni se mouvoir, ni transporter des blocs, ni polir des roches. On se demande donc ce que c'est que cette nappe de glace qui présente tous les caractères des glaciers, et qui néanmoins n'en est pas un, bien plus, qui ne peut l'être, à cause du mode de formation qu'on lui attribue. Quant à nous, nous ne saurions répondre à cette question.

Il résulte de ce qui précède, que l'hypothèse qui nous occupe, ne précise pas la cause de son principal agent, de ce froid qui a dû arriver *avant* le soulèvement des Alpes; qu'elle n'indique pas même les faits qui rendent nécessaire la supposition de ce grand froid; que le mode de formation de la nappe de glace qu'elle exige, présente des impossibilités, et que la manière dont elle fait opérer le transport des débris erratiques, n'explique pas les faits observés.

C'est par ces motifs que nous ne pouvons pas donner notre assentiment à l'hypothèse de Mrs Agassiz et Schimper.

§. 79.

GLACIERS.

Nous allons maintenant exposer l'hypothèse qui attribue à des glaciers le transport des débris erratiques. Quoiqu'elle soit d'une date bien antérieure à celle de la nappe de glace, nous en avons renvoyé l'examen par la raison indiquée plus haut (§. 77).

La personne que j'ai entendue pour la première fois émettre cette opinion, est un bon et intelligent montagnard nommé Jn. Pr. Perraudin, passionné chasseur de chamois, encore vivant au hameau de Lourtier dans la vallée de Bagnes. Revenant en 1815 des beaux glaciers du fond de cette vallée, et désirant me rendre le lendemain par la montagne de Mille au Saint Bernard, je passai la nuit dans sa chaumière. La conversation durant la soirée roula sur les particularités de sa contrée, et principalement sur les glaciers, qu'il avait beaucoup parcourus, et qu'il connaissait fort bien. » Les glaciers de nos montagnes » me » dit-il alors » ont eu jadis une bien plus grande

» extension qu'aujourd'hui. Toute notre vallée, » jusqu'à une grande hauteur au-dessus de la » Drance (torrent de la vallée), a été occupée par » un vaste glacier, qui se prolongeait jusques à » Martigny, comme le prouvent les blocs de ro- » ches qu'on trouve dans les environs de cette » ville, et qui sont trop gros pour que l'eau ait » pu les y amener ».

Quoique le brave Perraudin ne fît aller son glacier que jusques à Martigny, probablement parce que lui-même n'avait peut-être guère été plus loin, et quoique je fusse bien de son avis relativement à l'impossibilité du transport de blocs erratiques par le moyen de l'eau, je trouvai néanmoins son hypothèse si extraordinaire, si extravagante même, que je ne jugeai pas qu'elle valût la peine d'être méditée et prise en considération[1]. J'avais presque oublié cette conversation,

[1] J'ai rencontré encore dans d'autres parties de la Suisse des montagnards qui croient également à une plus grande extension des glaciers dans les temps anciens, et qui leur attribuent aussi le transport des blocs erratiques. Lorsqu'en 1834 je passai par la vallée de Hasli et par celle de Lungern pour assister à Lucerne à la réunion de la Société helvétique des sciences naturelles, je joignis sur la route du Brunig, un bûcheron de Meiringen. Je liai conversation avec lui, et nous fîmes un bout de chemin ensemble. Me voyant examiner un gros bloc de granite du Grimsel, qui gisait au bord du sentier, il me dit : » Il y a beaucoup de ces pierres par ici ; mais elles viennent de loin ; elles » viennent toutes du Grimsel, car c'est du Geisberger » (nom du granite en al- » lemand suisse), et les montagnes des environs n'en sont pas ». Sur ma

lorsqu'au printemps 1829, Mr Venetz vint me dire aussi que ses observations le portaient à croire que, non seulement la vallée d'Entremonts, mais que tout le Valais avait été jadis occupé par un glacier, qui s'était étendu jusques au Jura et qui avait été la cause du transport des débris erratiques.

Si j'avais trouvé extraordinaire et invraisemblable la supposition d'un glacier s'étendant du fond de la vallée de Bagnes jusques à Martigny, je trouvai réellement folle et extravagante l'idée d'un glacier de plus de 60 lieues de longueur, occupant non seulement le Valais, mais recouvrant

question, comment il croyait que ces pierres avaient pu arriver jusques ici, il me répondit sans hésiter. » Le Glacier du Grimsel les a amenées et déposées » des deux côtés de la vallée; car ce glacier s'est étendu jadis jusques à la » ville de Berne; en effet, » continua-t-il » l'eau n'aurait pu les déposer » à une aussi grande hauteur au-dessus du sol de la vallée, sans combler les » lacs » (ceux de Brienz et de Thoun). Ce brave homme ne se doutait certes guère que je portais dans ma poche un mémoire en faveur de son hypothèse, destiné à être lu à la Société helvétique des sciences naturelles. Et grand fut son étonnement lorsqu'il vit le plaisir que me causait son explication géologique, et lorsqu'il reçut de quoi boire au souvenir de l'ancien glacier du Grimsel et à la conservation des blocs du Brunig. J'ai trouvé également dans la vallée de Ferret, et Mr de Guimps, dans les environs d'Yverdon, des paysans qui attribuent le transport des blocs erratiques à des glaciers. Enfin Mr Brard rapporte (Dictionnaire des siences naturelles. Tom. 19. pag. 16.) que le nommé Marie Deville de la vallée de Chamounix attribuait également aux glaciers le transport des blocs de protogine que l'on trouve sur quelques éminences de cette vallée, et les sillons parallèles qu'on y observe sur des roches schisteuses.

même tout l'espace entre les Alpes et le Jura, et entre Genève et Soleure. Au premier abord cette hypothèse me parut être en opposition manifeste avec tous les principes de physique et de géologie, et entièrement contraire à tous les faits qui prouvent l'ancienne élévation de la température. En effet, comment concevoir qu'un glacier eût pu couvrir une contrée qui doit avoir joui jadis d'un climat propre à faire prospérer des palmiers, comme le prouvent les empreintes de Chamærops qu'on trouve dans les couches supérieures de la molasse de la Basse-Suisse.

Pour convaincre mon ami de l'erreur dans laquelle il me semblait être tombé, je m'appliquai à étudier d'une manière spéciale le terrain erratique et toutes les circonstances qui l'accompagnent. Mais cette étude me conduisit à un résultat tout opposé à celui auquel je m'étais attendu. En effet, loin de me fournir des arguments contre l'hypothèse des glaciers, je reconnus clairement qu'elle expliquait de la manière la plus satisfaisante le terrain erratique jusques dans ses moindres détails, et tous les phénomènes qui s'y rattachent. Néanmoins, je restai dans le doute, jusques au moment où je crus être parvenu à concilier l'existence de ces glaciers-monstres avec les faits qui prouvent l'ancienne élévation de la température. Croyant avoir trouvé la solution de ce

problème, je rédigeai un mémoire sous le titre de *Notice sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse*[1]. J'en fis lecture à la société helvétique des sciences naturelles réunie à Lucerne en Juillet 1834, et il fut inséré en 1835 dans le 8me volume des Annales des Mines.

Malgré l'extrême imperfection de ce petit travail, j'atteignis cependant le but que je m'étais proposé, savoir de réveiller et d'attirer de nouveau l'attention des géologues sur un phénomène qu'ils semblaient avoir abandonné entiérement depuis quelques années; et pourtant, c'est sans contredit le phénomène le plus remarquable qui soit arrivé depuis la dernière grande révolution qui a changé la surface du globe. En effet, c'est ce mémoire qui a engagé Mr Agassiz à étudier les glaciers et le terrain erratique. (Voyez sa lettre lue à la séance de l'Institut du 2 Octobre 1837, et insérée dans le No 2907 du Feuilleton du Temps).

Il y a peu de jours que mon savant ami Mr Studer m'a communiqué un extrait d'une analyse des Eléments géologiques de Mr Lyell, insérée dans la Revue d'Edimbourg, Juillet 1839. Il y

[1] On ne pourra donc pas m'accuser d'avoir adopté l'hypothèse des glaciers sans examen suffisant et sans y avoir mûrement réfléchi ; ni, comme le dit Mr Jean André de Luc, par suite d'une » connaissance imparfaite des faits.» Voyez sa lettre pag. 36.

est dit que, déjà en 1815, le célèbre Playfair avait attribué aux glaciers le transport des débris erratiques[1].

Le génie de Gœthe a également reconnu que ce même agent doit être la cause de ce transport[2]. J'ignore quand ce grand homme a conçu

[1] Voici le passage que Mr Studer a eu la complaisance de me communiquer :

An other hypothesis lately brought forward in Switzerland accounts for the erratics of the Jura by supposing the valley now separating that range from the central chain of the Alps, to have been once filled up with ice -and these blocks detached from some of the highest alpine ridges, to have formed what are called the » moraines » of the glaciers. Our readers will find this speculation mentioned by the late Professor Playfair (Works Vol. I. pag. XXIX.) and we are not certain that this view of the subject had been taken before. In the notes of a tour in 1815 he remarks » that a glacier which » fills up valleys in its course, and wich conveys the rocks on its surface » free from attrition, is the only agent we now sec capable of transporting » them to such a distance, without destroying that sharpness of the angles so » distinctive of these masses. That mountains formerly existed of magni- » tude sufficent to give origine to such extensius glaciers, is countenanced » by other phenomena observed in the Alps, and does not imply any alte- » ration in the surface so great as the supposition of a continued declivity » between the two extreme points, which is after all, insufficient to remove » the objection arising from the sharp angles of these rocks. »

[2] Zuletzt wollten zwey oder drey stille Gäste sogar einen Zeitraum grimmiger Kälte su Hülfe rufen und aus den höchsten Gebirgszügen, auf weit in's Land hingesenkten Gletschern, gleichsam Rutschwege für schwere Ursteinmassen bereitet, und diese auf glatter Bahn, fern und ferner hinausgeschoben, im Geiste sehen. Sie sollten, sich, bei eintretender Epoche des Aufthauens, niedersenken und für ewig in fremden Boden liegen bleiben. *Wil-*

cette pensée; elle ne se trouve pas dans la première édition de Wilhelm Meisters Wanderjahre, de l'année 1821, mais bien dans la dernière, soignée par Gœthe lui-même en 1829.

L'hypothèse qui cherche à expliquer par le moyen de glaciers le phénomène géologique qui nous occupe, pose en fait qu'après le dernier soulèvement des Alpes, le climat chaud qui avait régné jusqu'alors, se changea pour quelque temps en un climat froid et humide; que, durant cette époque, des glaciers se formèrent sur le faîte des Alpes et sur les arêtes les plus élevées des rameaux de ces montagnes; que ces glaciers prirent un accroissement si considérable qu'ils descendirent jusqu'au sol des vallées latérales, les remplirent jusqu'à une certaine hauteur, et atteignirent enfin la grande vallée correspondante, où ils se réunirent en un seul, qui finit par déboucher dans

helm Meisters *Wanderjahre*. 2[tes] Buch Cap. 10. *Gœthe's* Werke Bd. 22. Cotta. 1829.

Je viens d'apprendre par le rapport infiniment intéressant adressé le 21 Février 1840 par Mr Buckland à la Société géologique de Londres (pag. 60) que feu le Professeur Esmark, à Christiania, a admis que la majeure partie de la Norwége a été dans un temps recouverte de glace, et que les blocs de granite, qui abondent dans ce pays, ont été amenés par des glaciers. J'ignore l'année où ce savant a conçu cette opinion; mais, d'après Mr Buckland, elle se trouve consignée déjà dans la traduction des Remarques de Mr Esmark sur l'histoire géologique du globe, insérée en 1827 dans l'*Edinburgh New Philosophical Journal* Vol. VI. pag. 107.

le bassin de la Basse-Suisse. Dans cette hypothèse, toutes les grandes vallées de la Suisse ont fourni de vastes glaciers qui ont débouché dans la plaine au pied des Alpes. Mais il n'y en a qu'un seul, celui de la vallée du Rhône, qui ait atteint presqu'au faîte du Jura, et qui se soit étalé le long de cette chaîne de montagnes. Le retour de la chaleur les a peu-à-peu fondus et réduits à leurs limites actuelles. Les débris de roches qu'ils ont dû transporter à la manière des glaciers d'aujourd'hui, constituent le terrain erratique.

Laissons pour le moment l'examen de la probabilité d'un changement de climat tel que l'hypothèse l'exige, et voyons auparavant si, par la supposition de ces glaciers, on peut parvenir à rendre compte d'une manière facile, claire et satisfaisante, de tous les phénomènes du terrain erratique et des accidents qui l'accompagnent.

§. 80.

APPLICATION DE L'HYPOTHÈSE DES GLACIERS.

Avant d'appliquer cette hypothèse à l'explication des faits observés, et de voir comment elle soutiendra cette épreuve, nous devons faire observer que, pour bien comprendre les glaciers diluviens et leurs effets, il est nécessaire de se

bien rappeler les phénomènes des glaciers actuels, c'est-à-dire, d'avoir présents à l'esprit leur formation, leur conservation, et surtout ce que nous avons dit de la cause et du mode de leur mouvement (§. 14),et des dépôts qu'ils forment (§. 18.)

Nous allons rapporter les faits auxquels nous appliquerons l'hypothèse, en suivant l'ordre dans lequel nous les avons fait connaître, et en mettant en tête l'indication du sujet.

a) Age relatif. (§. 41).

Le transport des débris erratiques appartient à l'époque diluvienne. Mais rien n'empêche d'admettre que nos glaciers sont aussi de cette date, et que leur existence remonte même à-peu-près jusqu'aux premiers temps de l'époque diluvienne. Cette supposition ne renferme rien d'invraisemblable, puisque nos plus grands géologues admettent des glaciers antérieurs même aux Alpes actuelles; car ils supposent qu'il y en a eu déjà dans les Alpes occidentales, dont le soulèvement a précédé celui qui a donné aux Alpes leur relief actuel.

b) Nature des roches qui composent le terrain erratique (§. 42).

Le terrain erratique de chaque grande vallée

de la Suisse présente toujours la collection complète de toutes les roches qui constituent les montagnes de cette vallée et de celles qui y aboutissent. Il en est de même des moraines et des débris de roches éparpillés sur les lits des glaciers. Ils présentent les uns et les autres également la collection de toutes les roches des montagnes qui bordent le glacier.

c) Forme des fragments (§. 43).

La forme des fragments dépend principalement de la structure de la roche et de l'arrangement de ses fissures; il ne peut y avoir sous ce rapport aucune différence entre les débris erratiques et les débris que déposent les glaciers.

L'état de conservation est également le même dans les uns que dans les autres. En effet nous trouvons dans les moraines comme dans les dépôts erratiques, des fragments arrondis et lissés comme les galets des torrents; d'autres légèrement frottés et écornés; d'autres enfin, ayant la surface raboteuse, et les arêtes et les angles vifs et tranchants. Ces derniers sont ceux qui, ayant été éparpillés sur le dos du glacier, ont été transportés par son mouvement progressif, quelquefois fort au loin, sans éprouver de frottement.

Cela nous explique la bonne conservation de beaucoup de fragments erratiques, quoiqu'on les

rencontre à des distances fort considérables des montagnes d'où ils ont été détachés. Ces fragments sont tombés sur le dos du glacier, et y sont restés tout le temps de leur voyage. Lorsqu'ils y ont été espacés, c'est-à-dire, peu ou point en contact avec d'autres débris, ils ont pu faire des soixantaines de lieues sans éprouver aucune dégradation. On conçoit facilement que, plus un bloc tombé sur un glacier se trouve loin des bords, c'est-à-dire, rapproché du milieu, plus aussi il aura de chances de rester longtemps sur la glace et de faire un grand trajet avant d'atteindre l'un des bords. Ce fait, peu important par lui-même, est cependant intéressant à constater, parce qu'il explique pourquoi les plus gros blocs sont généralement les mieux conservés. En effet lorsqu'un éboulement de rochers tombe sur une pente rapide, les débris, au lieu de glisser ou de rouler, la descendent en bondissant. Arrivés au bas du talus, les plus gros blocs, qui font les bonds les plus considérables, s'en éloignent aussi davantage. Si la pente aboutit à un glacier, il est bien clair que les gros blocs sauteront plus loin que ceux de petit volume. Se trouvant ainsi plus en avant sur la glace, ils feront, sans éprouver de frottement, un bien plus long trajet avant d'atteindre les bords que ne pourront faire les petits fragments, qui se seront arrêtés plus près de la montagne.

Les faits que nous venons d'expliquer, sont du nombre de ceux dont les autres hypothèses ne peuvent rendre compte sans tomber dans de grandes invraisemblances.

d) Volume des fragments erratiques (§. 44).

Il n'est point de bloc assez volumineux pour résister à la force expansive de la glace, tout comme il n'en est point de trop lourd pour qu'un glacier ne puisse le porter à des distances considérables. Le Blaustein dans la vallée de Saas est un bloc de serpentine de 244,000 pieds cubes, transporté il y a environ 100 ans, par le glacier actuel de Matmark ou de Schwarzberg [1]. Le bloc erratique le plus gros que je connaisse, est le bloc-monstre des Devens, qui cependant, n'ayant que 161,00 pieds cubes, n'atteint que les deux tiers du volume du Blaustein. Ce n'est donc pas sortir des limites de la vraisemblance que d'attribuer aux glaciers diluviens le transport de blocs inférieurs en volume au Blaustein.

e) Absence de triage selon le volume. (§. 45).

L'un des caractères des débris erratiques est

[1] En 1821 il y avait encore à Saas des vieillards, entr'autres le grand-père de Jean-Baptiste Rupper, qui se souvenaient très-bien d'avoir ouï dire à leurs pères qu'ils avaient vu cet énorme bloc sur le dos du glacier.

l'absence complète de tout triage de débris selon le volume. Ce caractère se retrouve également dans les moraines et dans les débris éparpillés sur les lits des glaciers actuels, parce que le mode de mouvement de ceux-ci ne peut occasionner aucun triage. En effet, quelle que soit la distance, les glaciers ne mettent pas plus de temps à y transporter d'énormes blocs que des grains de sable.

f) Disposition du terrain erratique (§ 46).

Les trois formes sous lesquelles on rencontre les débris erratiques, nous sont également offertes, jusque dans les moindres détails, par les débris déposés par les glaciers.

g) Dépôts éparpillés (§. 47).

Ces sortes de dépôts correspondent aux débris que les glaciers laissent épars sur la portion de leur lit qu'ils ont abandonnée par suite de leur fonte. Ainsi, par exemple, lorsqu'on visite la portion de son lit que le glacier de l'Arpellaz ou de Salène a abandonnée près du hameau de Pratdefort, dans la vallée de Ferret, on croirait voir le sol de certains terrains incultes du Canton de Fribourg, du plateau du Jorat, des environs de Cossonay, de la Brétonnière, de Premier, etc., qui, à la végétation près, offrent exactement le même aspect.

h) Dépôts accumulés (§. 48).

Les dépôts accumulés de débris erratiques se présentent sous deux formes principales : sous celle de digues ou bandes, et sous celle de monticules plus ou moins coniques. Ces formes se retrouvent également dans les moraines (§. 19). En effet, lorsqu'un glacier rencontre un terrain plat ou peu incliné, il dépose ses débris en forme de digues (Voy. Fig. VI. et VII.); si le terrain est fortement incliné, il forme des bandes (Voy. Fig. VIII. et IX.). Enfin, lorsqu'une moraine superficielle (§. 20) vient à atteindre le bord du glacier avant d'avoir pu s'élargir, ses débris s'accumulent en forme de monticule. Le terrain erratique présente également ces sortes de dépôts à plusieurs arêtes que nous avons représentés par la Fig. XI, et désignés par le nom de *moraines multiples*. La bande de blocs granitiques de Plan-y-Beuf, les accumulations des Devens, des environs de Savièse, d'Evian, etc., présentent fréquemment cet accident.

L'hypothèse des glaciers explique également bien la situation des digues ou bandes à divers étages sur les flancs des montagnes, et à des hauteurs correspondantes des deux côtés de la vallée. Les bandes les plus élevées ont été déposées à l'époque où les glaciers diluviens avaient atteint leur

maximum d'extension et de développement; les autres ne l'ont été qu'à mesure que les glaciers allaient en diminuant. Mais cette diminution ne s'est pas opérée d'une manière continue et uniforme; la fonte de la glace n'a pas eu lieu sans interruption; car, s'il en avait été ainsi, les débris n'auraient pas pu former des digues ou des bandes, mais seulement des dépôts éparpillés (Gletscherboden). La fonte des glaciers s'est opérée par oscillations; c'est-à-dire, qu'après avoir diminué pendant quelque temps, ils sont restés stationnaires momentanément, ou ont même derechef un peu avancé avant de se remettre à fondre. En effet, ce n'est que par ces sortes d'oscillations que les glaciers, lorsqu'ils vont en diminuant, peuvent former des moraines.

L'absence de dépôts accumulés dans la plaine de la Basse-Suisse, à l'exception des environs de Lausanne et du plateau du Jorat, ou, en d'autres termes, à l'exception du voisinage de la vallée du Rhône, s'explique également par l'hypothèse des glaciers. Rappelons-nous d'abord que la différence de hauteur entre Genève et Soleure n'est que d'environ 160 pieds; que la différence de hauteur entre le lac Léman et celui de Neuchâtel, est de 204 pieds; rappelons-nous enfin que le point le plus bas de la ligne de partage d'eau entre le bassin du Rhône et celui de l'Aar est à 57 pieds

au-dessus du lac de Neuchâtel [1]. Par conséquent, sans commettre une trop grande erreur, on peut envisager le terrain compris entre les deux villes et les deux lacs comme une plaine à-peu-près horizontale, dont l'uniformité n'est guère interrompue que par le plateau du Jorat et quelques buttes de molasse. On conçoit donc qu'au retour d'un climat plus doux, la chaleur a dû se faire sentir à la fois sur les divers points de la plaine, et opérer la fonte de la glace sous laquelle celle-ci était ensevelie. Cette fonte a du s'y opérer sur tous les points à la fois, parce que la chaleur agissait également sur tous les points de la surface de cette portion du glacier diluvien du Rhône. Il n'a donc pu y avoir d'oscillation, dans cette contrée, ni, par conséquent, de dépôts accumulés. Les débris de roches dont le dos du glacier se trouvait jonché, ont dû s'éparpiller sur son lit à mesure qu'il l'abandonnait. Mais il en a été autrement sur le plateau du Jorat et dans le voisinage de l'entrée de la vallée du Rhône. Dans ces localités, la chaleur n'était pas encore assez forte

[1] Mr Fraisse, Ingénieur des Ponts et Chaussées, ayant été chargé de l'étude du chemin de fer projeté entre Ouchy et Yverdon, a eu la complaisance de me communiquer les hauteurs relatives au lac de Neuchâtel et au point de partage d'eau entre le bassin du Rhône et celui de l'Aar. Il les a obtenues par nivellement.

pour fondre d'une manière égale les glaces de ce plateau élevé, non plus que celles qui occupaient la grande vallée. En effet dans celle-ci le glacier principal était encore sous l'influence des glaciers latéraux qui, descendant des hautes montagnes, ne pouvaient pas encore avoir éprouvé sensiblement l'action de la chaleur. Le grand glacier n'a donc pu se fondre dans la vallée que lentement, et en faisant des oscillations dans lesquelles il faut voir la cause non seulement des moraines des environs de Lausanne et de celles du Jorat, mais aussi des moraines qu'on trouve sur les flancs et au pied des montagnes qui bordent la vallée du Rhône. A mesure que l'on remonte cette vallée, on remarque que ces moraines deviennent plus fréquentes et plus rapprochées. Cet accident se conçoit aisément, lorsqu'on réfléchit à la pente de la vallée, qui ne suit pas une ligne droite, mais qui s'élève suivant une courbe concave qu'on pourrait comparer à la moitié d'une courbe de chaînette.

i) Dépôts stratifiés (§. 49).

Les dépôts erratiques stratifiés correspondent exactement aux dépôts *d'alluvium glaciaire* que nous avons décrits §. 24. En effet, ces dépôts ne sont autre chose qu'un *diluvium glaciaire*, c'est-à-dire, que les matériaux amenés par les glaciers dilu-

viens, ont été déposés dans des amas d'eau, où ils se sont plus ou moins mêlés avec des matériaux apportés par les torrents. L'hypothèse rend très-bien raison de la disposition de ces dépôts qui se trouvent ordinairement à l'entrée des petites vallées latérales, et y pénètrent même quelquefois assez avant. Ces vallées, comme par exemple celles de la Grionne, de Panex, de l'Alliaz, de la Veveyse, etc., prennent toutes naissance dans des montagnes qui, vu leur peu d'élévation, n'ont pu former des glaciers assez considérables pour atteindre la grande vallée du Rhône. Elles étaient donc vides, c'est-à-dire, plus ou moins dégagées de glace, lorsque le glacier de la grande vallée est arrivé devant leurs entrées. Ne rencontrant aucun obstacle, il a dû y pénétrer par l'effet de son expansion latérale. En y barrant les torrents, il y a occasionné des amas d'eau, dans lesquels les débris de roches qu'il avait amenés, se sont déposés en se mêlant avec ceux qu'avaient charriés les torrents. A la fonte du glacier, ces lacs se sont écoulés, emportant avec eux la plus grande partie de ces débris, dont le restant fournit, encore aujourd'hui, la plupart des matériaux que les torrents de ces vallées charrient dans leurs crues.

D'autres vallées latérales, mais plus grandes que celles dont nous venons de parler, et prenant

naissance dans des montagnes plus élevées, ont eu chacune leur glacier [1]. Mais l'accroissement de ces glaces n'a pas été assez prompt pour qu'elles atteignissent la grande vallée avant qu'elle fût occupée par le glacier qui venait du fond du Valais. Celui-ci, passant devant les entrées de ces vallées, y a également pénétré jusqu'à la rencontre de leurs propres glaciers, auxquels il opposait ainsi une barrière insurmontable. L'expansion de la glace ne pouvant plus les allonger, soit les faire mouvoir en avant, les a fait augmenter en épaisseur. En effet, les glaciers de ces vallées ont acquis ainsi la même épaisseur que le grand glacier qui les barrait, comme on peut le voir par leurs moraines les plus élevées, qui se trouvent à la même hauteur que celle du grand glacier. Ce n'est qu'après la retraite de ce dernier qu'ils ont pu atteindre la plaine de la vallée du Rhône, où ils ont déposé des moraines considérables, lesquelles reposent même fréquemment sur des débris amenés par le grand glacier [2]. Ces vallées

[1] Ces vallées sont le Val d'Illiez près de Monthey sur la rive gauche du Rhône, et celles de l'Avançon, de la Grand'Eau et de la Tinière sur la rive droite.

[2] Ce fait s'observe très-bien dans les moraines déposées par le glacier de l'Avançon entre les Salines de Bexvieux et de Devens, et par celui de la Tinière entre Valaire et Plan-Coudray près de Villeneuve. Ces moraines reposent toutes sur des débris de roches venant des montagnes du Valais.

ayant été occupées par des glaces dans toute leur longueur, il n'a point pu s'y former de lacs, ni par conséquent de dépôts stratifiés.

Il en a été de même de toutes les vallées latérales en amont de Saint Maurice. L'élévation plus grande de ces vallées, et surtout la hauteur et l'étendue considérable des montagnes qui les encaissent, ont fourni des conditions si favorables à l'accroissement de leurs glaciers, que ceux-ci ont pu atteindre la plaine de la grande vallée avant l'arrivée du glacier qui venait du fond du Valais. Cela nous explique pourquoi on ne trouve pas dans ces vallées de fragments de roches étrangères aux montagnes qui les bordent, comme c'est le cas dans celles où le grand glacier a pu pénétrer.

k) Groupes de blocs de la même espèce de roche (§. 50).

Lorsqu'un éboulement tombe sur un glacier, les débris restent réunis, et ne peuvent se mêler qu'avec ceux qui s'y seraient trouvés déjà au moment de la chûte, ou qui les auraient atteints plus tard. Si ces derniers accidents n'arrivent pas, les débris peuvent être transportés à de grandes distances, sans éprouver aucun mélange. Lorsqu'enfin ils parviennent au bord du glacier, ils sont déposés peu à peu sur le terrain voisin, où ils

présentent une accumulation de débris d'une même espèce de roche.

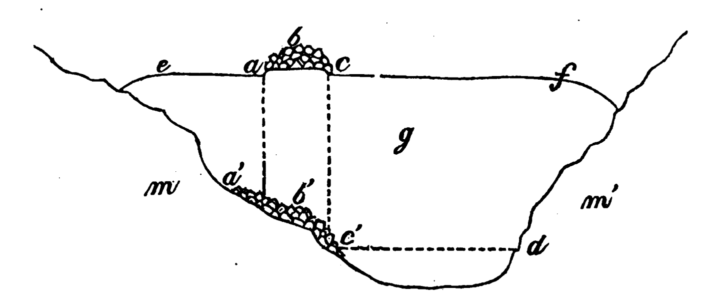
Ainsi l'hypothèse des glaciers nous rend parfaitement raison des groupes de blocs erratiques bien conservés et appartenant tous à une même espèce de roche. Aucune autre hypothèse ne peut aborder l'explication de ce phénomène sans perdre toute probabilité. La grande étendue de quelques-unes de ces accumulations ne peut fournir une objection contre l'origine que nous leur attribuons. En effet, si l'éboulement des Diablerets en 1749 et celui du Rossberg en 1806 étaient tombés sur un glacier, ils auraient donné lieu à des groupes bien plus considérables qu'aucun de ceux du terrain erratique. Le premier aurait présenté un groupe entièrement formé de blocs calcaires, et le second, un groupe de fragments de Gompholite (Nagelfluh).

Le groupe granitique de la montagne de Plan-y-Beuf, ainsi que celui de Steinhof, ont été déposés à l'époque où le glacier diluvien du Rhône était à son maximum de développement, car l'un et l'autre se trouvent sur la limite du terrain erratique. Celui de Monthey ne l'a été qu'à une époque où le glacier avait déjà considérablement diminué, car ce groupe n'est qu'à 400 pieds au-dessus du Rhône, tandis que la limite des débris erratiques est à 2300 pieds dans cette partie de la

vallée. Le groupe calcaire du Devens a été transporté par le glacier de la vallée de l'Avançon, et n'a été déposé qu'après la retraite du grand glacier du Valais; en effet, il repose sur des débris amenés par ce dernier.

La grande longueur du groupe de Monthey ($^5/_4$ de lieue) et sa largeur comparativement fort petite (de 300 à 800 pieds), prouvent que ces blocs ont formé une moraine superficielle (§. 20 et 21), qui, à la fonte du glacier, a été déposée sur le flanc de la montagne où elle existe aujourd'hui.

Fig. XXIII.



Soit Fig. XXIII. la coupe transversale d'un glacier *g* encaissé entre les montagnes *m, m'*; soit *a b c* la coupe transversale d'une moraine superficielle. A mesure que le glacier fondra, sa sur-

face *e f* descendra, et avec elle la moraine, mais celle-ci se disloquera. Lorsque la surface sera arrivée jusques à la ligne *c' d*, la moraine se déposera sur le flanc de la montagne *m*, et formera la bande *a' b' c'*. Cela nous explique parfaitement la manière dont les blocs de Monthey ont pu être déposés en forme de longue bande.

l) Position singulière de plusieurs blocs erratiques. (§. 51).

Lorsque des glaciers ont des bords fort élevés et escarpés, les gros blocs qui en tombent se fendent et se brisent fréquemment. Mais quand les bords offrent un talus tel que les blocs, au lieu de tomber, ne fassent que glisser, il arrive quelquefois que ceux-ci se placent les uns sur les autres, et prennent ainsi les positions les plus bizarres, dans lesquelles ils n'auraient pu s'établir ni se maintenir en équilibre, si le glacier ne leur avait fourni un appui qui, quoique passager, leur a cependant permis de prendre leur assiette. Il suffit de visiter les moraines de quelques grands glaciers, pour rencontrer de ces blocs singulièrement perchés les uns sur les autres.

Ce fait si facile à vérifier nous explique la position étonnante de plusieurs gros blocs erratiques, comme, par exemple, la Pierre à Dzo, au-dessus de Monthey, perchée sur un autre bloc,

où elle n'est retenue que par un très-petit bloc qu'elle a fendu du haut en bas en tombant du glacier; la Pierre à Bôt, reposant sur la plus petite de ses faces et ayant l'une des grandes, celle sur laquelle elle a glissé, encore tournée du côté où nécessairement le glacier a dû se trouver; la Pierre à Mourguets, fendue horizontalement par suite du coup qu'elle a donné du coin sur un autre gros bloc en tombant; la Pierra-Bessa, fendue perpendiculairement du sommet à la base; le bloc du magasin à poudre de Sion, gisant près du bord d'un précipice, fendu verticalement, et n'étant appuyé que faiblement sur une petite saillie du roc en place, sur une très-petite pierre, et sur une autre plus grande, mais aussi fendue verticalement; le bloc de calcaire schisteux de forme tabulaire qui est planté de champ dans le sol près de ma demeure, et fendu verticalement et parallèlement aux strates; etc., etc.

Tous ces blocs sont tombés du bord du glacier, au moment où il allait en diminuant; car si cette chûte avait eu lieu pendant qu'il avançait, ils n'auraient pas pu conserver ces positions extraordinaires.

Prétendre expliquer ces faits de détail, ces accidents par d'autres hypothèses que celle des glaciers diluviens, c'est entièrement dépasser les

bornes de la probabilité, et, en effet, personne n'a cherché non plus à le faire.

m) Distribution des fragments erratiques selon les espèces de roches. (§. 52).

Nous avons déjà fait connaître les causes pour lesquelles les diverses espèces de roches qu'on trouve à l'état erratique, sont aujourd'hui distribuées d'une manière inégale. Ces causes, tenant aux progrès divers des cultures, et en général au développement de la civilisation dans les différentes localités, sont entièrement étrangères au mode de transport des débris erratiques, et par conséquent, nous n'avons pas à nous en occuper de rechef ici.

Cependant, quoique la main de l'homme ait considérablement diminué le nombre des fragments erratiques dans la Basse-Suisse, et que le Jura, par diverses circonstances, en ait été plus ou moins préservé, il est néanmoins bien vrai qu'il y a eu de tout temps une plus forte accumulation de débris sur le flanc de cette chaîne, que dans aucune localité située entre le Jura et les Alpes.

C'est ce fait remarquable qu'il nous importe d'expliquer. Voyons si nous y parviendrons par l'hypothèse des glaciers.

On sait que les plus grandes accumulations des

débris transportés par un glacier ne peuvent se former que le long des bords, et qu'on les désigne par le nom de moraines (§. 18). Elles se produisent pendant tout le temps que le glacier avance, ou reste stationnaire. Lorsqu'il va en diminuant, les matériaux éparpillés sur son dos ne peuvent pas s'accumuler. Ils tombent à mesure qu'il fond, et se répandent sur le terrain qu'il vient de quitter. Par conséquent, lorsqu'un glacier se retire sans oscillations, il ne peut pas former d'accumulations: il ne laisse sur son lit que des débris épars.

Il va sans dire que non seulement toutes les vallées du Valais ont été occupées par des glaces jusqu'à une certaine hauteur, mais que toute la portion de la Basse-Suisse dans laquelle on trouve le terrain erratique venant de la vallée du Rhône, a été également recouverte par le même glacier. Par conséquent toute la contrée située entre les Alpes et le Jura, et entre les environs de Genève et ceux de Soleure, a été *lit de glacier*.

Il résulte de là que nous ne devons y trouver que des débris épars. Il n'a pas pu s'y former de dépôts accumulés, puisque, comme nous l'avons fait voir plus haut, le glacier s'est fondu dans la Basse-Suisse sans éprouver d'oscillation. De plus, il n'y avait pas là de moraines superficielles (§. 20) dont les débris, venant à tomber sur le lit

du glacier, eussent pu donner lieu à des bandes. En effet, il n'a pas pu y avoir de ces sortes de moraines dans la Basse-Suisse, parce qu'elles ont dû se disloquer aussitôt que le glacier, ayant quitté la vallée, a eu atteint la plaine, où, n'étant plus gêné dans son mouvement latéral, il a pu s'étendre librement à droite et à gauche. Les débris de ces moraines superficielles, se répandant ainsi sur la surface du glacier, n'ont pu former, lors de sa fonte, que des dépôts éparpillés. Cet énorme glacier se terminait au Jura, contre lequel il s'appuyait; la moraine frontale (§. 18), a donc dû se déposer sur le flanc de cette chaîne de montagnes. Par conséquent, il n'est pas étonnant d'y rencontrer une accumulation de débris plus considérable, que dans aucune autre localité située entre les Alpes et le Jura. Nous indiquerons plus loin (§. 80 *h.*) la cause pour laquelle le glacier s'est plus élevé en face de la vallée du Rhône que partout ailleurs, et y a déposé une quantité plus considérable de débris que sur les autres points du flanc du Jura (§. 80 *n.*).

La cause pour laquelle on ne trouve pas de fragments erratiques dans la vaste plaine qui s'étend depuis le lac Léman jusques près du défilé de Saint Maurice, est facile à concevoir. En effet, tout indique que cette plaine n'a été formée que par le remblai d'une portion du lac qui jadis s'é-

tendait jusques à peu de distance de ce défilé, et qui a été comblée tant par les débris erratiques que par le diluvium, comme nous le ferons voir plus loin (§. 84). Il résulte de là que le terrain erratique ne manque pas dans cette plaine, mais qu'il y est entièrement enseveli dans le diluvium, et recouvert par l'alluvium qu'ont déposé le Rhône et les divers torrents qui s'y jettent dans cette localité. La preuve évidente que ce terrain ne manque point dans la contrée, est fourni par les dépôts erratiques qu'on trouve sur les buttes ou monticules de cette plaine, par exemple sur les buttes de Saint Triphon et de Charpigny, et sur le monticule appelé le Montet. On rencontre aussi beaucoup de ces débris le long des bords de la plaine, mais seulement dans les localités où la faible pente des montagnes qui la bordent, indique que le lac n'a pas été profond.

Notre hypothèse explique également, pourquoi le flanc de la montagne qui fait face à l'entrée d'une vallée latérale, ne présente pas de débris venant de cette vallée. En effet, le glacier de la vallée latérale a été empêché par celui de la grande vallée de traverser cette dernière; par conséquent il n'a pas pu atteindre le flanc de la montagne qui lui faisait face, et y déposer des débris. Cet accident se présente fréquemment dans nos glaciers actuels. Ainsi par exemple,

dans les environs de Zermatt, les glaciers d'Obdem-See, de Schwärzi, de Klein-Triftig, et de Gros-Triftig, descendant du massif du Mont-Rose, viennent tous rejoindre le grand glacier de Gorner par son côté méridional. Les trois derniers y aboutissent à angle droit. Mais les débris qu'ils charrient, ne traversent point le glacier de Gorner ; on en chercherait donc en vain sur son bord septentrional, c'est-à-dire sur le flanc de la montagne de Riffel qui fait face à ces glaciers. Ces débris donnent lieu à des moraines superficielles, remarquables par leur régularité, et qui, parfaitement parallèles entr'elles et à la direction longitudinale du grand glacier, s'étendent jusqu'à son pied sans le traverser nulle part.

n) Hauteur à laquelle le terrain erratique atteint (§. 53).

Les débris erratiques les plus élevés sur les flancs des montagnes ont été déposés à l'époque du plus grand développement des glaciers diluviens. Ces dépôts ne sont autre chose que les moraines que ces glaciers ont formées lorsqu'ils avaient acquis leur plus grande épaisseur. Par conséquent, l'élévation de ces débris nous indique le maximum de l'épaisseur des ces glaciers. Ainsi, depuis Aernen dans le Haut-Valais, jusques à Brigue, le glacier a eu constamment 2800 pieds

d'épaisseur, car c'est la plus grande hauteur où l'on trouve les débris erratiques sur les flancs des montagnes qui bordent la vallée. Mais à Brigue, la vallée venant à s'élargir, le glacier a dû s'élargir également, ce qui l'a fait diminuer d'épaisseur. En effet, dans les environs de ce bourg, les débris ne s'élèvent qu'à 2500 pieds au-dessus du Rhône. De là jusques à Martigny, la vallée conservant uue largeur sensiblement égale, le glacier n'a pas varié non plus d'épaisseur, car dans tout ce trajet, qui est cependant de 17 lieues les fragments ne montent guère à plus de 2500 pieds au-dessus du sol de la vallée. Entre Martigny et Saint Maurice, la vallée se resserre derechef, et le glacier, en se rétrécissant, a dû augmenter d'épaisseur. Aussi, entre ces deux villes, la limite du terrain erratique se trouve presque à 3000 pieds au-dessus du Rhône. Mais à peu de distance en aval de Saint Maurice, la vallée s'élargit considérablement, et conserve cet évasement jusques au bassin du lac Léman. Cette circonstance a dû produire une diminution dans l'épaisseur du glacier, et en effet les débris les plus élevés des deux côtés de la vallée ne sont qu'à 2300 pieds au-dessus du niveau du Rhône.

Après avoir atteint le bassin du lac, le glacier a bientôt rencontré le plateau du Jorat, qui, gênant sa marche progressive, l'a fait augmenter

d'épaisseur du côté de l'Est, où la chaîne des Verreaux l'empêchait de s'étendre latéralement. En effet, il s'y est élevé jusques à la hauteur de 2600 pieds, comme on le reconnaît par les débris qu'il a déposés sur la montagne de la Playau. Mais vers l'Ouest s'ouvrait le vaste bassin du lac, où aucun obstacle ne gênait le mouvement latéral du glacier; il s'est donc étendu de ce côté en diminuant d'épaisseur, de manière qu'au-delà de Thonon, son bord latéral est descendu jusques au bord du lac. Lorsqu'une fois il a eu dépassé le plateau du Jorat, le glacier n'a plus trouvé de montagnes à franchir jusqu'à la rencontre du Jura, qu'il a atteint entre Vuitteboeuf et Bonvillars. Cette chaîne de montagnes a opposé une barrière infranchissable à son mouvement progressif. Il a dû donc s'opérer sur ce point une grande accumulation de glace. En effet le glacier y a gagné une épaisseur suffisante pour déposer sa moraine frontale à 3000 pieds au-dessus du niveau du lac de Neuchâtel. Cependant le long des bords latéraux, ne rencontrant aucun obstacle, il s'est considérablement élargi, mais il a en même temps diminué d'épaisseur. De cette manière, le glacier étant parvenu au maximum de son développement, son bord frontal et par conséquent la moraine terminale qu'il a déposée, ont décrit sur le flanc du Jura la courbe surbaissée

que nous y présentent aujourd'hui les limites du terrain erratique (§. 52).

Le mode de mouvement des glaciers nous explique facilement pourquoi c'est au sommet de cette courbe, précisément en face de la vallée du Rhône, que se trouve la plus grande accumulation de débris. C'est parce que cette localité est exactement l'endroit vers lequel a dû se diriger le mouvement longitudinal du grand glacier, à partir de Martigny. Ce mouvement a dû être plus considérable que le mouvement latéral, tant que la largeur du glacier dans la plaine de la Basse-Suisse n'a pas égalé la distance de Martigny au Jura. Cette largeur n'est devenue égale à cette distance, que lorsque les bords latéraux du glacier ont atteint, d'un côté, le lac de Bienne, et de l'autre, les environs de Nyon. Comme c'est dans la direction de leur mouvement longitudinal, que les glaciers transportent toujours le plus de matériaux, nous ne devons pas être surpris de trouver les plus grandes accumulations de débris précisément en face des vallées qui débouchent dans le bassin de la Basse-Suisse; car ce n'est que dans le sens de la direction des vallées que le mouvement longitudinal peut avoir lieu.

Enfin, l'hypothèse des glaciers nous rend également raison de ce fait remarquable, que la limite du terrain erratique, au lieu de continuer à

descendre du côté de l'Ouest, se relève assez brusquement près de Givrins, pour atteindre une hauteur de 2300 pieds aux chalets du Boule, depuis où, baissant derechef, elles se perd ensuite dans la plaine, se mêlant avec le diluvium et se confondant avec les débris erratiques sortis de la vallée de l'Arve. La cause de cet accident paraît être due à la rencontre du glacier qui a débouché de cette dernière vallée, et qui, empêchant celui du Rhône de s'étendre davantage dans une direction horizontale, l'a forcé à se dilater de bas en haut, c'est-à-dire, d'augmenter en épaisseur. Cette anomalie ne se retrouve pas vers l'Est, parce qu'aucun autre glacier de ce côté n'a atteint le Jura, et n'a gêné la tendance de celui du Valais à s'élargir dans cette direction.

o) Manière dont le terrain erratique finit (§. 54).

Nous avons fait voir que ce terrain se termine de quatre manières différentes. Il finit ou par uue accumulation en forme de digue ou de bande, ou par des débris épars, ou par se mêler peu à peu au diluvium, ou par se confondre avec les moraines des glaciers actuels.

L'hypothèse que nous exposons rend très-bien compte de ces divers accidents. Dans les localités où la pente du sol n'était pas trop rapide, les débris ont été déposés en forme de digues ou de

bandes dont le volume dépendait de la quantité de matériaux amenés par le glacier.

Lorsqu'un glacier transporte peu de matériaux dans un endroit, ou qu'il les dépose sur un sol trop incliné pour qu'ils puissent s'y accumuler, il ne forme que des dépôts éparpillés, tels qu'on les observe fréquemment sur la limite du terrain erratique.

Notre hypothèse nous explique également les blocs isolés ou épars sur les flancs des montagnes et sur les cîmes ou plateaux des monticules ou buttes qui s'élèvent au-dessus du sol des vallées et de la plaine de la Basse-Suisse. Pour se rendre compte de leur état d'isolement, on n'a donc pas besoin de supposer qu'ils ont été amenés par une débâcle, et déposés avec de menus débris, ni que ces derniers ont été ensuite enlevés soit par des torrents, (dont l'existence est le plus souvent contestée par les accidents du terrain), soit par une autre débâcle, nécessairement tout aussi considérable que la première.

Dans les localités qui sont atteintes par les torrents, les débris ne peuvent s'entasser, ni former des moraines. Les eaux les entraînent sans cesse, et les changent en alluvium. En effet, chaque glacier présente des dépôts alluviens à son pied et en général dans tous les endroits du voisinage où les eaux peuvent déposer ces matériaux. Par con-

séquent on ne peut rencontrer des moraines dans le cours des torrents des glaciers.

Il a dû en être de même des glaciers diluviens. Il n'est donc pas étonnant qu'on ne trouve pas de moraines, ni même de dépôts épars, dans les localités qui ont servi de lits aux torrents gigantesques fournis par l'énorme glacier diluvien du Valais. Ces torrents ont dû s'échapper du glacier par les bords latéraux, parce que la chaîne du Jura empêchait tout écoulement par le bord frontal durant tout le temps que le glacier s'appuyait contre son flanc. Il suffit de jeter un coup-d'œil sur la carte de la Suisse pour voir que les issues des torrents principaux, et, par conséquent, leurs cours ont dû se trouver, l'un entre Genève et Gex, et l'autre entre Soleure et Seeberg. Or dans ces deux contrées, il est impossible de reconnaître quelque disposition de débris erratiques en forme de digues ou de bandes; car ces débris s'y confondent entièrement avec le diluvium.

Si l'on considère que les dépôts qui dessinent les limites du terrain erratique, ne sont que les moraines ou bandes déposées à l'époque du *maximum* de développement des glaciers diluviens, on comprendra facilement pourquoi on y trouve indistinctement d'énormes blocs mêlés avec de menus débris; c'est qu'aucun triage selon le vo-

lume ne peut avoir lieu dans les transports, non plus que dans les accumulations opérées par les glaciers. En revanche, si ces déplacements avaient été effectués par des courants, on ne pourrait pas trouver de gros blocs sur les limites du terrain erratique. On n'y rencontrerait que de minces fragments, parce que, lorsqu'un courant en se ralentissant commence à déposer les gros matériaux, il continue néanmoins à en charrier encore d'un plus petit volume, et les dépose successivement plus loin, à mesure qu'il diminue de vitesse, et, par conséquent, de force.

Lorsqu'on suit le terrain erratique depuis le Jura jusques dans le Valais, et qu'on continue cette recherche jusques au fond des vallées, on arrive à ne pouvoir plus distinguer les débris qui constituent ce terrain, de ceux que tout le monde reconnaît pour avoir été transportés et déposés par les glaciers actuels [1]. Cette transition incontestable du terrain erratique aux moraines des

[1] Mr Jean André De Luc se refuse à admettre ce fait; car il dit en parlant du glacier des Bois (Bibl. univ. de Genève, Tom. 21. pag. 144) » que de » Saussure était en erreur en prenant pour moraines de ce glacier des amas » de blocs situés à une distance beaucoup plus grande que celle que le gla- » cier atteignit cette année-là (1822). » Quelques lignes plus loin, cet auteur nous apprend » qu'on verra dans un mémoire envoyé à la société géolo- » gique de France, que ces moraines *supposées* sont des blocs erratiques aussi » anciens que ceux qui reposent sur le Mont Salève et sur le Jura. »

glaciers est, à mon avis, un des faits qui milite le plus en faveur de l'hypothèse des glaciers. Les vallées de Binnen, de Saas, de Zermatt, d'Annivier, de Bagnes, de Ferret, de Chamounix, etc., sont très-propres à l'étude de ce fait.

Notre hypothèse fournit également une explication satisfaisante de la rencontre fréquente et même du mélange des débris erratiques avec le terrain diluvien. Aucune autre hypothèse ne saurait le faire. Ainsi par exemple celle des courants ne peut l'expliquer. En effet, elle suppose que ces courants ont été doués, ou d'une vîtesse capable de projeter par-dessus nos lacs et nos plaines des blocs de plusieurs mille pieds cubes, ou bien d'une consistance assez épaisse pour résister à la gravité de ces blocs. Par conséquent, qu'on admette l'une où l'autre de ces suppositions, il est impossible de concevoir comment ces courants, en transportant ces blocs, auraient pu déposer en même temps des couches minces et régulières de limon, de sable et de gravier, alternant avec des couches de galets, et fréquemment entremêlées d'énormes blocs. Les rapports qui existent entre le terrain erratique et le terrain diluvien sont si intimes et en même temps si intéressants, que nous en ferons le sujet d'un paragraphe particulier (§. 84).

L'hypothèse des glaciers nous explique encore

pourquoi les débris erratiques du Valais ne sont pas entrés dans la vallée de la Sarine au-delà du village de la Tour de Trême près de Bulle, et pourquoi on n'en trouve point le long de cette rivière jusques au pont de Corbières. Lorsque le glacier du Rhône est arrivé dans cette contrée, celui de la vallée de la Sarine avait déjà atteint les environs de la Tour de Trême, et il a ainsi empêché le premier de pénétrer plus avant dans cette vallée. A la retraite du glacier du Rhône, celui de la Sarine a encore avancé, mais seulement jusques à Corbières, poussant devant lui et rejetant sur les côtés les débris que l'autre pouvait y avoir déposés. Nous donnons la même explication pour les blocs erratiques venant du Valais, que l'on rencontre éparpillés dans la vallée de la Drance du Chablais jusques dans les environs de Vacheresse, et, d'après Mr Studer, à quelque distance au-dessous de Saint Jean d'Aulps. La seule différence entre ces deux faits consiste en ce que le glacier de la Drance, après la retraite de celui du Valais, n'a pas nettoyé le terrain aussi complètement que celui de la Sarine; mais qu'il a laissé subsister quelques blocs étrangers à la contrée, comme témoins de l'invasion que le glacier du Rhône avait faite jadis dans la vallée de la Drance.

L'absence totale de débris erratiques dans le

fond du vallon de Vallorbe et sur les flancs des montagnes qui l'entourent, est un fait inexplicable par les autres hypothèses, mais dont celle des glaciers rend parfaitement raison. La belle source de l'Orbe, semblable à la fontaine de Vaucluse, jaillit du pied d'un rocher à pic qui termine le vallon en formant un cirque. Cette source est si abondante qu'elle fait mouvoir à 20 minutes de son issue les rouages de plusieurs usines. Elle ne tarit jamais, et c'est à son eau, qui ne gèle que dans les hivers les plus froids, qu'il faut attribuer la cause de l'absence de ces débris dans le fond du vallon. En effet, fondant sans cesse le glacier qui menaçait d'envahir tout le vallon, elle l'a empêché d'en atteindre le fond.

Enfin l'existence de fragments de roches du Valais dans quelques vallées du Jura se concilie parfaitement avec l'hypothèse des glaciers.

C'est dans le Val de Travers que se rencontrent les dépôts erratiques les plus considérables qu'on trouve dans les vallées du Jura. Ce vallon débouchant près de Boudry dans le bassin du lac de Neuchâtel, il n'est pas du tout surprenant, que le glacier diluvien du Rhône y ait pénétré jusques à Couvet et à Motiers, et qu'il y ait déposé des débris.

M[r] Thurmann rapporte (*Essai sur les soulèvements jurassiques*, Cah. 2. pag. 38.), que ces dé-

bris » entrent très-avant dans l'intérieur des bas-
» sins jurassiques; qu'ils encombrent les parties
» inférieures du Val d'Orvins; qu'ils montent
» très-haut dans le petit val de Vauffelin, où il
» s'en trouve considérablement; et qu'ils occu-
» pent, quoique toujours en *diminuant* quant à
» leur nombre et à leur *grosseur*, les Vals de Péry,
» St. Imier, Tavannes et Bellelay.» Cette dernière circonstance, savoir la diminution de volume de ces débris, autorise à croire que les débris venant du Valais que l'on trouve dans ces quatre vallées ne font plus partie du terrain erratique, mais appartiennent au diluvium déposé par les torrents s'échappant de la portion du glacier qui, près du Chasseral, menaçait d'envahir le Val St. Imier. Le galet de Gabro trouvé par Mr Studer près de Pierre-Pertuis (*Monographie de la molasse*, pag. 224) peut très-bien y être arrivé de la même manière. Quant aux débris qu'on rencontre dans les Vals d'Orvins et de Vauffelin, il ne paraît pas douteux qu'ils n'y aient été déposés par le glacier même qui a pénétré jusques là par le défilé de la vallée de la Suze. En effet, le plateau qui, au-dessus du village de Bœzingen, domine à l'Est l'entrée de cette gorge, présente beaucoup de blocs erratiques plus ou moins espacés.

p) Etendue du terrain erratique (§. 55).

Le terrain erratique de la vallée du Rhône occupe une beaucoup plus grande étendue de terrain que les débris fournis par aucune autre vallée de la Suisse.

Partant de l'hypothèse des glaciers, nous sommes conduits à conclure en quelque sorte *a priori* que le glacier du Valais a dû être infiniment plus grand qu'aucun de ceux qui ont aussi atteint la Basse-Suisse. En effet, il ne peut pas en être autrement, et cela résulte de la manière la plus évidente de la situation même de cette vallée. Si nous jetons les yeux sur la carte de la Suisse, nous verrons d'abord que le Valais est la seule vallée des Alpes qui, sur les quatre cinquièmes de sa longueur, soit constamment bordée par les deux plus hautes chaînes de ce système de montagnes. Nous remarquerons de plus que la vallée du Rhône est de toutes les vallées du versant septentrional des Alpes, celle où aboutissent le plus de grandes vallées latérales prenant toutes *naissance sur des montagnes assez élevées pour être encore aujourd'hui couvertes de glaciers*. Cette vallée réunissait donc les conditions les plus favorables pour que son glacier pût acquérir le plus grand développement, et pour que, par conséquent, ses débris erratiques pussent être dispersés sur une

beaucoup plus grande surface que ceux des autres vallées.

Indiquons maintenant les vallées qui débouchent dans le bassin de la Basse-Suisse, en les rangeant d'après l'étendue de la dispersion de leurs débris erratiques : ajoutons-y le nombre de leurs vallées latérales descendant de montagnes encore actuellemeut couvertes de glaciers. A la vallée de Rhône aboutissent 32 vallées latérales.

»	du Rhin	18	»	»
»	de la Reuss	11	»	»
»	de l'Arve	8	»	»
»	de l'Aar	7	»	»
»	de la Limmat	7	»	»
»	de la Sarine	2	»	»

On voit par cette énumération que la vallée du Rhône est celle qui reçoit le plus de vallées latérales, et que la vallée de la Sarine est celle qui en reçoit le moins. Aussi l'on trouve que le terrain erratique le moins étendu est celui de cette dernière. On remarque encore que la vallée de l'Aar et celle de la Limmat reçoivent autant de vallées latérales l'une que l'autre. Néanmoins les débris erratiques fournis par la première occupent une plus grande étendue que ceux qui proviennent de la seconde, parce que les vallées latérales de l'Aar sont plus étendues que celles de la Limmat, quoique les unes et les autres prennent également

naissance sur le faîte de la haute chaîne septentrionale. Il n'est donc pas surprenant que le glacier diluvien de l'Aar ait recouvert une plus grande étendue de terrain que celui de la Limmat.

L'hypothèse des glaciers explique encore pourquoi il y a des localités où il paraît n'y avoir jamais eu de débris erratiques, quoiqu'elles aient été couvertes par les glaciers diluviens, et que les accidents de terrain n'aient pu opposer aucun obstacle au dépôt. Rappelons-nous d'abord qu'il n'y a guère aujourd'hui de glacier tant soit peu étendu dont la surface soit en entier couverte de débris, et que la quantité même de ces matériaux est extrêmement variable. Il a dû en être de même des glaciers diluviens. Il doit y avoir eu des portions considérables de surface entièrement dégarnies des fragments de roches. Par conséquent lorsque les glaciers sont venus à se fondre il n'a pas pu y avoir de dépôts de débris sur le sol qui correspondait à ces portions dégarnies.

q) Surfaces frottées. (§. 56).

Si l'on se souvient de ce que nous avons dit au §. 17. de l'effet produit par les glaciers sur les rochers avec lesquels ils se trouvent en contact, on se rendra parfaitement compte des marques de frottement et d'usure des anciennes surfaces de

rochers qui ont été atteintes par les débris erratiques, ou plutôt, par les glaciers qui en ont opéré le transport. Cet accident est donc si facile à expliquer par l'hypothèse qui nous occupe, qu'il serait oiseux d'entrer ici dans de plus grands détails. Il en est de même du fait remarquable que les marques de frottement deviennent plus prononcées à mesure qu'on remonte les vallées et qu'on s'approche des crêtes des montagnes et surtout du faîte des Alpes. En effet, on conçoit aisément que, dans ces hautes régions, l'accumulation des glaces a été non seulement plus considérable, mais aussi et surtout de plus longue durée, que dans les régions basses des vallées. Par conséquent les rochers y ont été plus longtemps exposés au frottement produit par le mouvement des glaciers. Ce fait ne peut être expliqué par aucune des autres hypothèses[1].

[1] Le fameux *Roc poli* du Col de la Fenêtre près du Saint Bernard n'est point du tout le résultat du frottement de quelque glacier, comme le prétend Mr Agassiz (Bibliothèque universelle, Avril 1839 pag. 389.) Il suffit de voir sur les lieux cet accident remarquable, pour se convaincre que jamais glacier n'a été en contact avec ces surfaces polies, qui ne sont autre chose que les parois de plusieurs fissures capillaires et parallèles entr'elles. Or celles-ci, comme l'avait déjà dit Mr de Saussure, se sont frottées les unes contre les autres, sans doute au moment du soulèvement. Mr de Leonhard, qui partage entièrement cette dernière opinion, attribue avec beaucoup de raison l'espèce de vernis qui relève ce beau poli, à une vitrification ou fusion des masses vio-

r) *Erosions verticales* (§. 57).

L'hypothèse des glaciers n'explique pas moins bien l'origine des creux et des sillons qu'on remarque fréquemment sur les surfaces plus ou moins horizontales des rochers calcaires. Pour se rendre compte de cet accident, il suffit d'appliquer aux glaciers diluviens ce que nous avons dit (§. 35) des érosions produites par les eaux qui tombent sur le lit des glaciers.

Quant aux excavations en forme de cuve, qu'on observe au monticule de Châteauneuf près de Sion et au rocher voisin de la maison Bertrand entre Bex et Saint Maurice, elles ont été produites par les eaux qui, pendant la durée du glacier diluvien se précipitaient dans quelque crevasse, laquelle devait correspondre et aboutir à la portion excavée du rocher. En effet, lorsque le lit d'un glacier présente quelque gros rocher en saillie, la glace qui le recouvre est toujours crevassée; ces crevasses restent en quelque sorte permanentes, ou, pour parler plus exactement, elles se reproduisent constamment à la même place. Quand il arrive en même temps que la surface du gla-

lemment et rapidement frottées les unes contre les autres. (*Géologie des gens du monde*, pag. 406).

cier est accidentée de telle manière que les eaux puissent atteindre en abondance les bords de l'une de ces fentes, elles s'y précipitent en formant une cascade qui, là où elle atteint le rocher, produit ces érosions en forme de cuve[1].

§. 81.

OBJECTIONS CONTRE L'HYPOTHÈSE DES GLACIERS.

Après avoir montré que tout le phénomène du terrain erratique des Alpes peut être expliqué jusques dans ses moindres détails par l'hypothèse des glaciers, nous allons répondre aux objections qu'on a élevées contre cette manière de se rendre compte des faits. Nous commencerons cette discussion par l'examen de celles qui ont été publiées, et nous la terminerons en répondant à celles qui nous ont été faites de bouche ou par correspondance.

Les objections publiées dont nous avons connaissance, viennent de Mrs Jean André De Luc, Agassiz et Mousson.

[1] La crevasse sur le glacier inférieur du Grindelwald dans laquelle tomba et périt, en 1821, Mr Mouron de Chardonne, présente toutes les années, durant la saison de la fonte des glaces, une des cascades dont nous parlons.

Dans un mémoire intitulé : *Examen de la cause probable à laquelle Mr J. de Charpentier attribue le transport des blocs erratiques de la Suisse, dans sa notice sur ce sujet*, et dans un autre ayant pour titre : *Note sur les glaciers des Alpes* [1], Mr De Luc cherche à défendre l'ancienne théorie des glaciers, et prend fait et cause pour l'hypothèse du transport des débris erratiques par des courants auxquels il attribue une vîtesse de 300 à 400 pieds par seconde. Les objections qu'il fait à l'hypothèse des glaciers, sont à peu près toutes tirées de faits que nous avons déjà discutés à l'occasion de la théorie des glaciers et de la réfutation de l'hypothèse des courants. Nous croyons donc parfaitement inutile d'y revenir maintenant [2].

Mr Agassiz ne rejette point, comme Mr De Luc, le transport des débris erratiques par les glaciers.

[1] Le premier de ces mémoires est inséré dans les *Actes de la Société helvétique des sciences naturelles*, 22me session, Neuchâtel 1837, pag. 29 et suivantes. Le second se trouve dans la *Bibliothèque universelle de Genève*, Tom. 21. pag. 141.

[2] Voici une des objections de Mr De Luc. Nous la trouvons dans son second mémoire, Bib. univ. Tom. 21, pag. 142. « En 1821 et jusqu'en 1822, » le glacier des Bois fit de grands *progrès en avant*, renversant des arbres » dont quelques-uns avaient deux pieds de diamètre, et s'approchant des » habitations au point qu'en Juin il n'était plus qu'à 40 pas de la maison la » plus voisine; le 8 Juin il n'en était qu'à 66 pieds, et au mois d'Août à » 62 pieds. *Ces faits nous prouvent bien que ce glacier n'avait jamais été aussi* » *avancé; car on n'aurait pas bâti une maison à une si petite distance.* »

Mais il le restreint plus que nous ne le faisons, car il n'admet ce mode de transport que jusques sur les rives septentrionales de la partie orientale du lac Léman, c'est-à-dire, jusques dans les environs de Lausanne et de Vevey. (Voy. son discours d'ouverture, etc., pag. VIII et IX). Quant aux débris déposés dans les autres localités de la Basse-Suisse et sur le flanc du Jura, il suppose qu'ils y sont arrivés en glissant sur une nappe de glace. Ayant déjà discuté cette hypothèse (§. 78), nous n'y reviendrons pas non plus. Nous nous bornerons à examiner la valeur des motifs pour lesquels ce savant se refuse à croire que les glaciers diluviens aient atteint ces contrées et déposé les fragments erratiques qu'on y trouve. Voici comment Mr Agassiz exprime ces motifs dans une lettre lue à l'Institut de France le 2 Octobre 1837 et insérée dans le N° 2907 du Temps.

» Les blocs erratiques du Jura, » dit-il «, reposant sur ces surfaces polies, prouveraient-ils,
» comme l'avait admis autrefois Mr Charpentier[1],
» que les glaciers se seraient étendus jusque sur le
» Jura, poussant devant eux des blocs de roches

[1] C'est probablement par un malentendu que le mot *autrefois* se trouve dans cette phrase ; car depuis que je me suis convaincu de la vérité de l'hypothèse des glaciers, je n'ai jamais cessé de penser que le glacier diluvien du Rhône s'est étendu jusques au Jura.

» alpines, et polissant la surface sur laquelle ils » se mouvaient. Un fait s'y oppose absolument; » c'est que les blocs erratiques du Jura sont an» guleux, tandis que les blocs des moraines, con» stamment poussés par le mouvement des gla» ciers, et frottés les uns contre les autres, sont » toujours arrondis ».

Dans son discours d'ouverture (pag. XVII) Mr Agassiz allègue ces mêmes motifs; car après avoir mentionné l'hypothèse des glaciers, il dit: » Un fait bien frappant s'oppose à cette explica» tion : c'est que les blocs du Jura sont générale» ment moins arrondis et même plus grands que » ceux que l'on trouve dans les moraines du bord » des glaciers actuels ».

Il résulte de ces deux passages que Mr Agassiz admet pour les blocs du Jura un mode de transport autre que les glaciers diluviens, et qu'il fonde sa manière de voir uniquement sur ce que ces blocs lui ont paru être généralement plus anguleux et plus gros que ceux des moraines des glaciers actuels. Quant à nous, nous n'avons jamais su apercevoir cette différence. A supposer même qu'elle existât, elle ne nous paraîtrait pas assez importante pour qu'il valût la peine de créer une hypothèse nouvelle, qui de plus a le défaut de ne pas expliquer les faits (§. 77).

Mr Mousson vient de publier la description géo-

logique des environs de Baden en Argovie[1]. Cet ouvrage, riche en observations importantes et clairement exposées, traite d'une manière intéressante des terrains diluviens, et par conséquent aussi du terrain erratique de cette contrée.

Cette habile géologue, sans se prononcer positivement sur la cause de la dispersion des débris erratiques, semble cependant donner la préférence à l'hypothèse des courants. En effet, pour rendre raison des gros blocs dégarnis de menus débris, qu'on trouve à de grandes hauteurs, il pense qu'on ne peut pas expliquer ce fait autrement que par des courants qui d'abord auraient déposé ces fragments, et par d'autres qui, s'étant formés de nouveau, auraient alors emporté les menus débris, en laissant sur place les gros blocs, (pag. 66). Comme nous avons déjà discuté longuement l'hypothèse des courants (§. 76), et fait voir combien elle présente d'invraisemblances et combien elle est insuffisante, nous croyons superflu d'y revenir ici.

Le terrain erratique des environs de Baden fournit à Mr Mousson l'occasion de faire quelques reflexions sur l'hypothèse des glaciers, à laquelle ce savant objecte :

[1] Geologische Skizze der Umgebungen von Baden im Canton Argovie von A. Mousson. Zurich, 1840

1) la difficulté de concevoir des glaciers aussi considérables que les exige l'hypothèse (pag. 90);

2) la facilité avec laquelle on pourrait également expliquer sans avoir recours à ces glaciers, les marques de frottement sur les surfaces anciennes des rochers, et les sillons dans les rochers calcaires (pag. 88);

3) l'insuffisance de cette hypothèse pour expliquer un fait particulier relatif à la distribution des débris erratiques dans la vallée de la Limmat;

enfin 4) la nécessité d'admettre un état climatique en opposition avec les idées reçues sur la constitution physique du globe, et avec les faits géologiques.

Tâchons de répondre à ces objections.

Ad 1). Nous devons faire observer d'emblée que Mr Mousson paraît adopter encore l'ancienne théorie des glaciers. Partant des principes qu'elle établit, il a parfaitement raison de dire (pag. 92): « Plus on cherche à pénétrer la nature des glaciers diluviens, et plus il devient difficile de s'en faire une idée claire ». Si cette théorie, comme nous l'avons fait voir, est déjà insuffisante même pour rendre compte des phénomènes principaux des glaciers actuels, combien ne doit-elle pas l'être, lorsqu'il s'agit d'expliquer les énormes glaciers diluviens? Ainsi, par exemple, elle attribue le mouvement des glaciers, tant à la pression

des hauts-névés, qu'à l'action de leur propre poids. Si cette supposition était fondée, elle formerait une objection sans réplique à l'hypothèse que nous défendons. En effet, comme le remarque très-bien Mr Mousson, les hauts-névés diluviens n'ayant pas pu augmenter à proportion du développement des glaciers proprement dits, leur pression sur ces derniers serait bientôt devenue insuffisante pour les faire avancer; ces glaciers une fois arrivés au pied des montagnes, et ayant atteint le sol plat ou peu incliné des vallées, leur propre poids n'aurait pu non plus les faire glisser. Mais si nous admettons le mode de formation, de conservation et de mouvement qui est réellement propre aux glaciers, et que nous avons fait connaître, toute cette difficulté disparaît; car le peu d'étendue des hauts-névés et le défaut de pente du lit des glaciers diluviens ne peuvent plus fournir une objection contre l'existence de ces derniers, ni même contre le développement extraordinaire que nous leur attribuons.

Ad 2). Mr Mousson trouve (pag. 88) qu'il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des glaciers pour expliquer les marques de frottement sur les anciennes surfaces de rochers (§. 56) et les sillons dans les rochers calcaires (§. 57). Il pense que ces accidents ont pu être produits par des courants chargés de matériaux solides, aussi bien que

par les eaux, soit pluviales, soit provenant de la fonte des neiges. S'il n'y avait d'autres faits à alléguer en faveur de l'existence des glaciers diluviens que ces marques de frottement et ces sillons, l'observation de Mr Mousson pourrait être fondée. En effet, il aurait été absurde d'établir l'hypothèse qui nous occupe, si elle n'avait eu d'autre but que de rendre compte de ces deux accidents, quelle que soit d'ailleurs l'impossibilité de les expliquer convenablement par les seuls agents auxquels ce savant les attribue. Mais c'est l'ensemble des faits offerts par le terrain erratique, qui prouve l'existence des glaciers diluviens et leur grand développement. Bien plus, il n'y a aucun de ces faits qui, même considéré séparément, ne puisse être expliqué par l'hypothèse des glaciers (§. 80), tandis que toute autre explication, si elle ne conduit pas toujours aux invraisemblances les plus choquantes, loin de satisfaire l'esprit, le laisse plus ou moins dans le vague et dans l'incertitude. Ainsi, par exemple, si nous attribuions, avec Mr Mousson, à des courants chargés de débris de roches, ces marques de frottement et d'usure, nous ne comprendrions pas pourquoi les surfaces parfaitement abritées par des saillies de rochers contre le choc de ces matériaux, sont tout aussi bien frottées et usées que celles qui, par leur position, ont dû être frappées

directement par le courant. Nous ne saurions pas non plus concevoir pourquoi ces marques de frottement sont plus prononcées et plus développées sur les crêtes des hautes chaînes des Alpes et dans leur voisinage (§. 56), que dans les basses régions des vallées. En effet, si elles avaient été produites par des courants, le cas inverse devrait nécessairement avoir lieu, car certes il ne pouvait pas y avoir des courants sur le faîte des Alpes. Mais si nous attribuons ces accidents à l'action des glaciers, nous les comprenons parfaitement, comme nous l'avons fait voir plus haut (§. 80).

Quant aux sillons creusés dans les roches calcaires, l'explication proposée par Mr Mousson ne nous apprend pas pourquoi ces sillons sont beaucoup plus communs et plus profonds dans les hautes montagnes que partout ailleurs, c'est-à-dire, pourquoi cet accident est beaucoup plus prononcé précisément dans des localités où l'agent auquel il l'attribue, ne peut exercer qu'une faible action. En effet, dans les hautes montagnes, les surfaces de rochers peu inclinées sont couvertes de neige pendant 6 à 8 mois de l'année, et, par conséquent, abritées contre l'action des pluies.

Mais si nous admettons l'hypothèse des glaciers, l'explication de ce fait ne rencontre aucune

difficulté; car nous savons que les glaciers produisent ces sortes de sillons (§. 35), et nous concevons aisément que les glaciers diluviens ont dû se maintenir beaucoup plus longtemps dans les hautes montagnes que dans les régions basses, et que, par conséquent, les traces qu'ils ont laissées après eux, doivent être plus prononcées dans les localités où leur séjour a été plus prolongé, que dans celles où il l'a été moins[1].

Ad 3). La partie inférieure de la vallée de la Limmat est séparée de celle de la Reuss par le petit chaînon de montagnes connu sous le nom de l'Albis. Ce chaînon présente entre l'Utliberg et le Hasenberg une forte dépression ou plutôt une véritable interruption. C'est par cette ouver-

[1] Les environs de Nice, et en général le pied du versant méridional des Alpes maritimes et des Apennins, présentent fréquemment de grandes étendues de terrain où le sol est entièrement nu ou dégarni de terre, peu incliné et formé d'un calcaire compacte et homogène tout-à-fait semblable à celui qui, dans les Alpes, offre communément de ces sillons profonds et rapprochés. Eh bien, jamais dans ces contrées là je n'ai remarqué d'érosions semblables semblables aux sillons qne l'on rencontre en Suisse. Cette anomalie ne peut être attribuée à un manque complet de pluie, parce qu'il y en tombe, quoique moins souvent que dans les pays plus septentrionaux. Mais rappelons-nous que ces belles contrées n'ont jamais été envahies par les glaces : leur situation méridionale et leur élévation moindre au-dessus de la mer n'y ont pas permis la formation de glaciers. Par conséquent nous ne devons pas nous étonner de n'y trouver ni sillons, ni terrain erratique, dont en effet, je n'ai pu y reconnaître la moindre trace.

ture, qui établit une communication facile entre les deux vallées, que des débris de roches venant de la vallée de la Reuss, ont pénétré dans celle de la Limmat, et se sont mêlés à ceux qui sont descendus par cette dernière.

Mr Mousson trouve que ce fait intéressant est bien difficile à expliquer par l'hypothèse des glaciers. Quant à nous, nous ne saurions être de son avis, et nous croyons au contraire qu'elle l'explique très-facilement, et sans contredit beaucoup mieux qu'aucune autre hypothèse imaginée dans ce but. Voici la manière dont nous comprenons ce fait.

Le glacier de la Reuss a été plus considérable que celui de la Limmat, parce qu'il a pris naissance dans des montagnes plus étendues que celles d'où est descendu le glacier de la Limmat (§. 80 *p*). Par conséquent, il a dû arriver plus tôt que ce dernier devant l'ouverture entre l'Utliberg et le Hasenberg. Le glacier ne rencontrant là aucun obstacle à son expansion *latérale* une portion en a pénétré par cette découpure dans la vallée de la Limmat[1], et, trouvant celle-ci dé-

[1] Le glacier d'Argentière présente un exemple frappant de ces sortes de ramifications ou bifurcations de glaciers; car ces moraines font voir qu'il s'est partagé en deux branches, dont l'une, la plus considérable, a descendu la

garnie de glace, elle l'a traversée facilement jusqu'à la rencontre du Laegernberg, qui fait face à cette ouverture. La Limmat a dû se frayer un passage par-dessous le glacier, comme la Drance de la vallée de Bagnes le fait encore aujourd'hui sous celui de Giétroz. Le Laegernberg, dont le glacier n'a pu franchir la crête, l'a forcé de s'élargir et de s'étendre à droite et à gauche le long de son flanc, et de suivre ensuite la vallée de la Limmat. Ce glacier a été atteint plus tard dans les environs de Regensperg et d'Oetwyl, par celui de la Limmat; les deux s'étant réunis là en un seul, il n'est donc pas étonnant que les débris de roches transportés par l'un se soient peu à peu mêlés avec ceux qu'avait amenés l'autre[1].

vallée de Chamounix, tandis que l'autre a pénétré par le col des Montets dans celle de Vallorsine, où elle a bientôt rejoint le glacier qui venait du côté du Buet.

[1] Je dois à l'obligeance de mon ami Mr Escher de la Linth (fils) la connaissance d'un fait fort intéressant qui ne peut guère s'expliquer que par l'hypothèse des glaciers. Des blocs venant des montagnes de la vallée de la Reuss se trouvent sur le revers oriental de l'Albis, c'est-à-dire, sur le flanc qui descend dans la vallée de la Limmat. Ces blocs sont situés près de l'arête de la montagne, et non pas au pied, comme on devrait s'y attendre s'ils avaient été amenés par une débâcle, qui, depuis la vallée de la Reuss, eût versé par-dessus l'Albis. En effet, on ne saurait comprendre comment ces blocs, ayant une fois franchi la crête, auraient pu s'arrêter sur le flanc rapide de la montagne et ne point rouler jusqu'au pied. L'hypothèse des glaciers explique clairement ce singulier accident, et voici comment : le glacier de la Reuss était plus épais que la chaîne de l'Albis n'était haute dans les endroits où ces blocs l'ont

Ad 4). Enfin Mr Mousson trouve que l'hypothèse des glaciers ne peut s'accorder ni avec les idées les plus généralement reçues en géologie, ni avec les faits observés. Nous reviendrons plus tard sur ce reproche (§. 82), et nous espérons prouver qu'il est trop sévère, et que l'hypothèse des glaciers, loin d'être en opposition avec les idées reçues en saine géologie, est au contraire la conséquence la plus directe de ces idées, et le résultat inévitable de l'observation [1].

traversée. Par l'effet de son expansion latérale, le glacier a dû déborder par ces dépressions, et arriver sur le flanc oriental de la chaîne, où il a déposé de ces débris. Le glacier de la Limmat, longeant ce flanc et étant moins épais que celui de la Reuss, a retenu ces blocs et les a empêchés de rouler au pied de la montagne.

[1] Nous ne saurions terminer nos réponses aux objections de Mr Mousson sans témoigner nos regrets de ce que les nombreuses occupations de cet exact observateur ne lui ont pas encore permis de visiter la vallée du Rhône dans le but d'en connaître les dépôts erratiques (pag. 92). Cette étude, nous en sommes convaincu, aurait bien modifié son jugement sur l'hypothèse des glaciers. En effet, il résulte, tant des observations de Mr Mousson que de celles que Mr Escher de la Linth (fils) a bien voulu me communiquer, que les phénomènes erratiques ne se présentent pas dans les vallées de la Reuss et de la Limmat d'une manière aussi claire et aussi nette que dans le Valais. On pourrait presque dire que, relativement à ces phénomènes, il existe à peu près le même rapport entre ces deux vallées et celle du Rhône, qu'entre la Saxe et l'Auvergne relativement aux phénomènes volcaniques et plutoniens; car si l'on n'avait pu étudier les terrains volcaniques ailleurs que dans les environs de Freiberg, cette branche de la géologie ne serait certes pas encore à la hauteur où elle se trouve maintenant.

Voilà ce que nous avons cru devoir répondre aux objections publiées. Maintenant nous allons nous occuper de celles qui nous ont été faites soit verbalement, soit par correspondance.

L'objection qui nous a été faite le plus fréquemment, se fonde sur la difficulté de concevoir la cause qui aurait amené sous la latitude des Alpes un climat propre à donner aux glaciers diluviens un développement aussi considérable, que l'hypothèse le réclame. En réfléchissant à cette objection, on reconnaît bientôt qu'elle n'a pas de force. En effet, lorsqu'une hypothèse rend parfaitement compte de tous les faits, qu'elle ne suppose rien de contraire aux principes établis dans la science à laquelle elle se rapporte, qu'aucune autre hypothèse n'explique aussi bien tous les phénomènes, voudrait-on la rejeter uniquement par la raison qu'elle n'indique pas la cause de l'agent dont elle a besoin et qu'elle réclame ? Ainsi, par exemple, la position redressée des couches n'a été convenablement expliquée par les diverses hypothèses auxquelles elle avait donné lieu, que lorsque M[rs] de Buch et Elie de Beaumont proposèrent celle des soulèvements. Cette hypothèse, rendant parfaitement raison de tous les faits relatifs à ce phénomène, a été bientôt élevée au rang de système, et en peu de temps

elle est devenue, pour tous les géologues instruits, une conviction, une vérité, un fait. Mais quant à la cause même de ce fait incontestable, il n'y a plus cette unanimité, cet accord parfait. Les opinions sont partagées. Les uns cherchent cette cause dans la dilatation produite par la combustion des métalloïdes; d'autres, dans l'expansion des gaz renfermés dans l'intérieur du globe; d'autres encore, dans la dilatation produite par la cristallisation de corps liquides; enfin la majorité des géologues croit trouver cette cause dans l'éruption de corps liquides ou pâteux, occasionnée par la contraction que la croûte terrestre doit avoir éprouvée, par suite de son refroidissement. Mais malgré cette divergence d'opinions sur la cause des soulèvements, il n'est venu à l'esprit de personne d'y trouver une objection contre les soulèvements mêmes.

Il ne serait donc pas logique de rejeter l'hypothèse des glaciers par la raison seule qu'on n'aurait pas réussi jusques à présent à démontrer la cause du développement extraordinaire des glaciers diluviens. Mais nous ne voulons pas laisser subsister cette objection, quoique par les considérations qui précèdent, nous ne l'envisagions pas comme bien fondée. Nous sommes en mesure d'y répondre, parce que nous espérons avoir résolu ce problème, et être parvenu à la découverte

de la cause qui a dû produire nécessairement un état climatique capable de former les glaciers diluviens et de leur donner ce grand développement [1]. Nous réservons ce sujet pour le paragraphe suivant.

Le temps que les glaciers diluviens ont dû mettre pour parvenir à leur maximum d'étendue, a été singulièrement exagéré dans l'esprit des adversaires de l'hypothèse que nous défendons, et ils en ont tiré une objection contre elle.

Le plus grand défaut que nous trouvions à reprocher à cette objection, c'est son manque d'équité. En effet, depuis quand est-il d'usage de marchander le temps aux hypothèses géologiques? Si nous exigions cent mille ans pour le dépôt d'une assise tant soit peu puissante de grès ou de calcaire, on ne nous les refuserait certainement pas; peut-être même nous trouverait-on encore bien modeste. Mais non, nous ne demanderons ni tant de siècles, ni le climat de la Sibérie. Qu'on nous accorde seulement une série de 700 à 800 années froides et pluvieuses, semblables aux années qui se succédèrent depuis 1812 jusqu'à 1818, et nous avons toutes les conditions

[1] Les partisans de l'hypothèse des glaces flottantes sont également obligés d'admettre un changement de climat.

de temps et de climat nécessaires pour faire arriver le glacier diluvien du Rhône jusques au Jura et jusques aux environs de Soleure et de Gex. En effet, en 1818, année où les glaciers des Alpes avaient acquis un développement extraordinaire, celui du Rhône s'était avancé de 150 pieds [1]. Si l'on part de cette donnée, et qu'on estime à 2 lieues la longueur du glacier au commencement de 1818, on parvient à évaluer approximativement le temps qu'il aura mis pour acquérir l'étendue que réclame la dispersion des débris erratiques du bassin du Rhône. En effet, les glaciers soumis aux mêmes influences de climat, de pente et d'accidents de terrain, avancent en raison de leur longueur. Mr Pichard, Ingénieur des Ponts et Chaussées, et Mr Marc Secretan, Professeur de Mathématiques à l'Académie de Lausanne, ont bien voulu soumettre ces données au calcul, et ils ont trouvé, chacun de leur côté, que le glacier du Rhône, suivant constamment la marche qu'il avait suivie en 1818,

[1] Je me suis assuré de ce fait en mesurant, en 1822, la distance depuis la moraine déposée en 1818 jusqu'à la ligne où s'était trouvé le pied du glacier à la fin de 1817, ligne qui m'avait été indiquée par les gens qui, pendant ces années, habitaient une petite cabane située près du glacier, se livrant à la fabrication de l'eau de vie de gentiane. Cette mesure était également d'accord avec les renseignements que j'ai obtenus là-dessus de diverses personnes d'Obergesteln.

aurait mis 774 ans à faire les 66 lieues, soit les 900,000 pieds que mesure la route qu'il a dû prendre pour arriver du fond du Valais à Soleure. A la fin de la dernière année, il a dû avancer de $^7/_{10}$ pieds par *jour*, vîtesse bien différente de celle que les hypothèses des courants attribuent à l'eau. On comprend aisément que le résultat de ce calcul ne peut point être l'expression exacte de la vérité. En effet, le développement d'un glacier, et par conséquent la vîtesse de son mouvement progressif, ne dépendent pas uniquement du climat. Il y a encore une foule d'éléments relatifs à la pente et aux inégalités de terrain, lesquels influent puissamment sur ce mouvement, et qui malheureusement ne peuvent pas être suffisamment appréciés pour qu'on les fasse entrer dans le calcul.

Mais quelque incertain que soit nécessairement le résultat d'un calcul établi sur des données aussi incomplètes, il est cependant suffisant pour faire voir qu'il n'a pas fallu un temps excessivement long pour que les glaciers diluviens aient pu prendre le développement nécessaire à l'exigence des faits[1].

[1] En 1818, comme nous l'avons déjà fait connaître, les glaciers avaient pris un accroissement auquel ils n'étaient pas parvenus de mémoire d'homme, et qui avait porté la crainte et même l'épouvante dans les villages voisins.

Nous n'avons, il est vrai, aucune donnée pour apprécier la durée du maximum de développement de ces glaciers, non plus que pour évaluer le temps qu'ils ont mis à se fondre et à se réduire à leurs dimensions actuelles. Cependant, en jugeant par l'analogie de ce qui se passe aujourd'hui, nous sommes autorisé à croire, que ce maximum n'a pas duré longtemps parce que les glaciers actuels ne restent jamais longtemps dans un état parfaitement stationnaire.

Enfin nous ne pouvons pas savoir non plus le temps qu'a pu durer la fonte des glaciers diluviens. Nous savons seulement par les faits rapportés plus haut (§. 80 *g*) qu'elle a dû être plus prompte dans le bassin de la Basse-Suisse que dans les vallées. Mais rien ne nous oblige de supposer que cette fonte ait exigé un temps excessif.

Il résulte de ce qui précéde, que le phénomène des glaciers diluviens ne nécessite en aucune manière un temps si long que l'on puisse y trouver de l'invraisemblance et par conséquent

Supposé que quelqu'un eût dit aux habitants de la vallée de Chamounix : › Si » le temps froid et pluvieux qu'il a fait depuis 1812, continue encore une » cinquantaine d'années, vos glaciers se seront tous réunis dans la grande » vallée pour n'en former qu'un seul jusqu'à Sallenche », il n'y aurait certainement pas eu un seul de ces montagnards intelligents qui eût émis le moindre doute sur la vérité de cette prédiction. Et cependant il y a 7 lieues depuis le fond de la vallée de Chamounix jusqu'à Sallenche.

un sujet de doute, et encore moins, une raison de rejeter l'hypothèse que nous défendons.

La chaleur de la terre a aussi fourni un motif d'objection contre l'existence, ou plutôt contre la grande étendue des glaciers diluviens. On a cru que cet agent aurait apporté un obstacle invincible à leurs progrès, qu'il ne leur aurait pas permis de descendre dans les basses vallées, ni, à plus forte raison, d'envahir la plaine entre les Alpes et le Jura.

Nous ne saurions admettre cette objection, parce qu'elle se base sur une erreur manifeste, en attribuant à la chaleur terrestre une intensité suffisante pour que, dans *nos* latitudes, elle puisse à *elle seule* élever au-dessus de zéro la température de la surface du sol. Mais nous avons fait voir (§. 34) qu'il n'en est point ainsi, et que cette chaleur, réduite à sa propre action, est insuffisante pour dégeler un terrain recouvert par des glaces, à l'exception des endroits où l'air et l'eau peuvent avoir accès, et où, par conséquent, l'action de la chaleur terrestre est secondée par le calorique amené par ces deux corps.

On m'a encore objecté que les lacs qui barrent l'entrée de toutes nos grandes vallées, auraient dû mettre un obstacle insurmontable à l'envahissement de la Basse-Suisse par les glaciers diluviens. Nous répondons à cette objection qu'un lac ne

peut pas arrêter la marche progressive d'un glacier; qu'il ne fera que la ralentir aussi longtemps que la température de l'eau sera au-dessus de zéro. Mais il arrivera un moment où le lac se sera refroidi, tant par le contact avec la glace, que par l'eau provenant de la fonte, de manière que sa température se trouvera très-voisine de zéro. La fonte cessera alors presque entièrement, et le glacier pourra avancer, parce que son expansion l'emportera sur sa fonte. La densité de la glace ordinaire est de 0,92; la glace des glaciers, étant plus poreuse, aura une densité encore moindre. Par conséquent, dans les endroits où le lac sera trop profond pour que le glacier puisse en atteindre le fond, l'eau le supportera. Au reste l'expérience vient à l'appui de notre raisonnement; car le glacier de Panérossaz, dans les Alpes de Bex, est en grande partie supporté par un lac; le glacier de Schwarzberg, dans la vallée de Saas, a traversé en 1817 le lac de Matmark dans toute sa largeur, et l'on sait par Scoresby que les glaciers de la côte orientale du Grœnland avancent assez sur la mer pour qu'il puisse s'en détacher des fragments dont ce navigateur estime la circonférence à un mille anglais[1].

[1] Voyez, sur l'avancement des glaciers du Spitzberg sur la mer, l'intéressan travail de Mr Martins, *Bib. univ. de Genève*, Août 1840.

Il y a des personnes qui ont cru trouver une forte objection dans la grande épaisseur des glaciers diluviens, qu'ils envisagent comme incompatible avec le mode de conservation et de développement que nous attribuons aux glaciers (§. 6). En effet, ils disent, et avec beaucoup de raison, que le froid de la nuit n'est ni assez intense ni assez prolongé pour pouvoir pénétrer dans l'intérieur de glaciers aussi épais, et y opérer la congélation de l'eau absorbée pendant le jour. Cette objection serait sans réplique si nous avions réellement admis cette transmission du froid. Mais jamais nous n'avons avancé une pareille absurdité, et, quoique nous ayons déjà traité ce sujet (§. 6), nous croyons néanmoins nécessaire d'y revenir, parce qu'il est impossible de comprendre clairement la théorie des glaciers, sans avoir une idée bien nette de la manière dont le refroidissement de l'air peut agir jusque dans la plus grande profondeur de ces masses de glace, et y occasionner la congélation de l'eau infiltrée. Voici donc comment l'abaissement nocturne de la température exerce quelque influence sur l'intérieur d'un glacier.

Durant le jour, la fonte des neiges et de la glace, ainsi que les pluies, répand de l'eau sur le glacier. Une partie s'en écoule directement, suivant les pentes et les sinuosités de la surface.

Une autre pénètre dans les crevasses, qui la distribuent dans toute la masse du glacier. Cette eau, coulant par petits filets le long des parois de ces fentes, est en grande partie absorbée par les fissures capillaires dont la glace est traversée en tout sens. L'eau, qui a été constamment en contact avec la glace, arrive dans ces fissures à une température très-voisine de zéro. De plus, ces fissures sont si étroites que l'absorption y a lieu plutôt par l'effet de l'attraction capillaire, qu'autrement. Ces petits filons ou lames d'eau ont des surfaces considérables en contact avec la glace. Il en résulte que l'eau absorbée se trouve dans les circonstances les plus favorables à sa congélation, et qu'elle n'est maintenue liquide que par le peu de calorique que lui amène l'eau continuant à lui arriver de la surface et à se mêler avec elle. Mais dès que le froid de la nuit arrête ou seulement diminue cette affluence, l'eau contenue dans les fissures capillaires, se congèle aussitôt, dilate la glace, et occasionne de nouvelles fêlures, propres à l'absorption. Ce jeu alternatif d'absorption, de congélation et de formation de fissures capillaires a lieu depuis la surface du glacier jusques dans sa plus grande profondeur. On voit donc qu'il n'est nullement question d'une transmission de froid dans l'intérieur d'un glacier; car la différence de température entre l'été

et l'hiver ne peut guère y être sensible; à plus forte raison celle qu'il y a entre le jour et la nuit, ne doit pas du tout s'y faire sentir. Il est même très-probable, que l'intérieur d'un glacier est sensiblement au-dessous de zéro, et que cet abaissement de température va en augmentant avec l'épaisseur du glacier[1]. Cette considération démontre que la grande épaisseur des glaciers diluviens ne peut fournir aucune objection contre leur existence.

Enfin, on a prétendu que les vallées prenant naissance dans des montagnes calcaires n'avaient pas fourni de débris erratiques, et on a cru trouver dans ce fait une objection à l'hypothèse des glaciers. Si en effet les vallées ouvertes dans des montagnes calcaires n'avaient point contribué à la formation du terrain erratique, ce serait là une anomalie également inexplicable par toutes les autres hypothèses. Mais le fait n'est pas exact; car il y a des vallées qui sont bordées de montagnes calcaires dans toute leur longueur, et qui ont fourni beaucoup de débris erratiques, comme, par exemple, les vallées de l'Avançon près de Bex, de la Grand'Eau près d'Aigle, de la Tinière près

[1] Cette supposition a été confirmée par les expériences de Mr Agassiz sur la température du glacier inférieur de l'Aar. Voy. *Etudes sur les glaciers*, pag. 202.

de Villeneuve, de la Morges et de la Sionne près de Sion, de la Sarine, etc. Les blocs calcaires d'un gros volume, se trouvent, il est vrai, rarement à de grandes distances du lieu de leur origine. Mais cela n'est pas une objection, et la raison de ce fait est facile à concevoir lorsque l'on considère que cette roche est extrêmement fissurée, et, par cette raison, peu propre à se conserver en gros fragments. En effet, nous voyons aussi, que dans les moraines et dans les éboulements de granite, de gneis, de schiste talqueux, etc., il y a beaucoup plus de gros blocs que dans les accumulations semblables formées de roches calcaires. De plus, la grande ressemblance que les diverses roches calcaires ont entr'elles dans les Alpes, fait qu'il est très-difficile de les reconnaître toujours à l'état erratique dans les localités où les montagnes sont formées elles-mêmes de ces roches.

Cette circonstance a sûrement beaucoup contribué à l'erreur sur laquelle on a fondé l'objection. Enfin il y a des vallées calcaires, qui en effet n'ont point fourni de débris erratiques par la raison toute simple qu'elles prennent naissance dans des montagnes trop peu élevées pour avoir pu former des glaciers un peu considérables. Telles sont par exemple les vallées de la Grande et de la Petite-Emme.

§. 82.

CAUSE DES GLACIERS DILUVIENS.

Maintenant nous allons nous occuper de la cause qui produisit les glaciers diluviens et leur donna leur immense développement. Nous allons donc répondre ainsi à l'objection principale élevée contre l'hypothèse des glaciers, quoique, comme nous l'avons fait voir plus haut, cette objection ne soit pas valide, parce qu'elle n'est ni réfléchie ni équitable.

Les rapports intimes qui existent entre le terrain erratique et la configuration actuelle du sol, prouvent que le transport de ces débris a eu lieu non pas *avant* mais après la grande catastrophe qui a accidenté l'hémisphère boréal sur une vaste étendue, et donné à la chaîne principale des Alpes son relief actuel. C'est donc *après le soulèvement des Alpes*, que dut survenir cette longue suite d'années froides et pluvieuses (§. 81), qui occasionna la formation des glaciers diluviens.

Lors de la rédaction de mon mémoire, en 1834, je croyais que ce changement de climat avait été occasionné par une plus grande élévation non seulement des Alpes et du Jura, mais de toute la Suisse, c'est-à-dire, que je pensais que ces con-

trées avaient été soulevées à une plus grande hauteur au-dessus de la mer, que celle où nous les voyons aujourd'hui, et qu'elles s'étaient ensuite affaissées par suite du tassement qu'elles avaient dû éprouver.

Quoiqu'il n'y ait rien d'invraisemblable dans la supposition que les Alpes ont eu jadis une plus grande élévation qu'aujourd'hui, cette hypothèse est cependant insuffisante pour expliquer un phénomène aussi général que celui de la dispersion des débris erratiques. En effet, elle ne l'expliquerait pas dans des contrées un peu éloignées des Alpes, comme par exemple les Pyrénées, et à plus forte raison vers le nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique. Enfin, je dois avouer que par une véritable inadvertance, que mon savant ami Mr Studer m'a fait apercevoir, je n'avais pas réfléchi que les grands plateaux élevés ne présentent jamais un abaissement de température aussi considérable que les montagnes terminées par des arêtes, ayant d'ailleurs la même élévation et se trouvant sous les mêmes latitudes. Ainsi les vastes plateaux des Andes et de l'Himmalaya n'ont pas un climat aussi froid que leur grande élévation au-dessus de la mer et leur degré de latitude devraient le faire supposer.

Je renonce donc à l'explication que j'avais donnée en 1834, et j'en propose maintenant une

autre, contre laquelle, j'ose l'espérer, on ne pourra élever aucune objection fondée. Celle-ci se base sur un fait géologique que personne ne révoquera en doute; car nous ferons voir que le changement de climat qui produisit les glaciers diluviens, fut la suite nécessaire, la conséquence directe de ce grand cataclysme qui a bouleversé l'hémisphère boréal sur une grande étendue, et opéré le dernier soulèvement des Alpes.

Cette révolution n'a pas agi avec une force, une intensité égale dans les diverses contrées qui en ont été atteintes. Dans les unes, elle a fait surgir de vastes chaînes de montagnes au-dessus de l'Océan ou des plaines qui se trouvaient déjà à sec; dans d'autres, elle n'a fait que changer le relief des montagnes déjà existantes; enfin, dans la plupart, elle s'est bornée à produire de faibles déplacements, de légères dislocations de couches, n'y laissant d'autres traces que de simples failles et des accidents de terrain peu importants. Mais partout où cette catastrophe s'est fait sentir, elle a occasionné des fentes ou des crevasses, dont la plupart ont été ou refermées par suite du tassement, ou plus ou moins remplies par des dépôts tant cristallins que sédimentaires.

Les crevasses les plus larges restées ouvertes dans leur partie supérieure, nous offrent de ces sortes de vallées que l'on désigne par le nom de

vallées de montagnes, pour les distinguer des *vallées de contrées basses* soit *d'érosion*, qui, au lieu d'être des crevasses, ont été excavées par les eaux courantes. Les crevasses d'une moindre largeur restées également ouvertes offrent des défilés, des gorges et des gouffres de montagnes. Enfin les fentes les plus étroites font partie de ces fêlures innombrables qu'on appelle *fissures accidentelles*, et dont toutes les roches sont plus ou moins traversées [1].

Personne ne mettra en doute qu'une masse considérable d'eau, tant pluviale, que fluviale, lacustre ou marine, n'ait pénétré dans ces crevasses, dont un grand nombre devaient atteindre la profondeur où la température de la terre était assez élevée pour transformer l'eau en vapeurs; celles-ci, remontant au jour, durent se répandre dans l'atmosphère, s'y condenser, et, selon la saison, se précipiter de nouveau en pluie ou en neige. Au commencement, ces vapeurs, au sortir des crevasses, durent être chaudes, peut-être brûlantes. Mais, par le contact de l'eau, et sur-

[1] Les fissures accidentelles ne datent pas toutes de cette époque. Il doit y en avoir beaucoup qui proviennent de soulèvements antérieurs à celui des Alpes: Il y en a aussi un grand nombre qui paraissent être le résultat de la retraite ou de la contraction produite tant par cristallisation, que par dessèchement, ou enfin par refroidissement.

tout par la soustraction du calorique nécessaire pour la convertir en vapeurs, les parois de ces crevasses durent peu-à-peu perdre de leur température[1]. Ce refroidissement dut aussi se communiquer aux vapeurs mêmes, qui en effet finirent par n'avoir au sortir de la terre qu'une température à peu près pareille à celle des couches inférieures de l'atmosphère[2].

[1] Il ne faut pas s'exagérer l'élévation de la température de la croûte terrestre au moment du soulèvement des Alpes. Ainsi, durant la formation des dernières couches tertiaires, par conséquent pendant les derniers temps de l'époque qui précéda cette catastrophe, la température moyenne de la Basse-Suisse ne devait guère être au-dessus de 17°, 5, ce qui est la température moyenne des contrées ou croissent les chamærops, au groupe desquels appartiennent les palmiers dont on trouve les empreintes dans les couches supérieures de la molasse. Admettant avec la plupart des physiciens que cette température représente en même temps celle du sol, nous sommes autorisé à croire que la chaleur des couches superficielles de la Suisse ne dépassait pas sensiblement le degré de température que nous venons d'indiquer. Il est très-possible que ce degré de température ait été plus fort dans le voisinage des granites, des porphyres, des euphotides et des serpentines. Mais il n'est point nécessaire de supposer qu'il ait été excessif; car il y a des faits qui engagent à croire que les changements opérés dans la structure et même dans la nature de beaucoup de roches par le contact avec les roches plutoniennes, ont eu lieu longtemps avant le cataclysme qui a donné aux Alpes leur relief actuel. En conséquence rien n'oblige de supposer que l'abaissement de la température de 17°.5 degrés à 10°.5 degrés ait exigé un espace de temps fort considérable.

[2] Les volcans présentent quelquefois le même accident; car il arrive que les vapeurs qui se dégagent de leurs bouches, n'ont pas une température plus élevé que l'air ambiant. Mr Pœppig, dans la relation de son voyage dans l'Amérique méridionale (*Voyage au Chili*, etc. Vol. I. pag. 416 et suiv.) décrit, ou plutôt dépeint les phénomènes du volcan d'Antuco avec cette précision, cette clarté, cette vérité, qui ne laissent rien à désirer, qui se retrouvent

Aussi longtemps que subsista la communication entre l'extérieur de la croûte terrestre et son intérieur, l'eau ne cessa de pénétrer à des profondeurs où la chaleur de la terre la convertissait en vapeurs. Si l'on considère que ce cataclysme a atteint à peu près toute la zône tempérée et une portion de la zône glaciale ; qu'il a donc occasionné d'innombrables fractures sur une étendue du globe qui excède la moitié de l'hémisphère boréal ; que ces fentes ou crevasses n'ont pu se fermer que par tassement ou par des dépôts tant cristallins[1], que sédimentaires ou détritiques ;

dans toutes ses descriptions, et qui ne cessent pas un instant de répandre un charme indicible sur tout cet ouvrage classique. Ce célèbre voyageur nous apprend que des vapeurs blanches se dégagent de ce volcan dont le cône est enveloppé d'une couche de glace d'une épaisseur inconnue (pag. 418), quoiqu'il soit après le Pic de Ténériffe et le Cotopaxi, l'un des volcans les plus pointus (pag. 421.) Ce dégagement a lieu avec une violence si étonnante que M^r Pœppig en compare le bruit au sifflement de la soupape d'échappement d'une des plus grandes machines à vapeur, en remarquant toutefois qu'il est vingt fois plus fort. » La pression de l'air, dit-il, » était comme un violent ou- » ragan qui coupe la respiration à ceux qui le rencontrent ; cependant la va- » peur *n'était ni chaude*, ni de mauvaise odeur, mais *très-humide* ». (indessen war der Dampf weder warm, noch übelriechend, allein sehr feucht, pag. 422.)

[1] J'entends par ces dépôts *cristallins*, non seulement plusieurs filons modernes de substances volcaniques ou plutoniennes : mais aussi ces gangues de quarz, de chaux carbonatée, (fréquemment magnésifère) de chaux fluatée, de baryte sulfatée, etc. tantôt pures, tantôt accompagnées d'oxides et de sulfures, qui constituent les filons les plus modernes et à la formation desquelles ces vapeurs mêmes ont probablement le plus contribué.

on ne pourra se refuser à croire qu'il a fallu un temps considérable pour intercepter cette communication, qui, du reste, ne l'est pas encore complètement à l'heure qu'il est, comme le prouvent les volcans et les sources thermales.

Pendant la durée de ce dégagement de vapeurs par tant de bouches réparties sur une aussi grande étendue de la surface du globe, l'état climatique de toutes les contrées situées entre le 22me degré et les hautes latitudes du nord, dut nécessairement s'en ressentir. Les vapeurs, en se répandant dans l'air, durent en augmenter considérablement l'humidité; puis, en se convertissant en brouillards et en nuages [1], et en interceptant

[1] Mr Pœppig, en parlant des vapeurs qui s'échappent du volcan d'Antuco, nous dit : » Un phénomène qui n'est point le résultat d'une illusion d'optique, » a été fréquemment observé à Antuco; c'est la transformation de ces mêmes » vapeurs en véritables nuages. Ce phénomène avait lieu les deux derniers » mois de 1828, surtout avant 9 heures du matin par un air calme et par un » ciel parfaitement serein, sans qu'il y eût le plus léger indice d'un change- » ment prochain du temps. La vapeur du volcan, plus blanche que d'ordi- » naire, s'élevait à une grande hauteur; mais comme si elle eût été gênée par » quelque chose de lourd, elle s'étendait en formant une couche longue et » horizontale, qui, gagnant de plus en plus en blancheur, avait acquis au » bout d'une heure un développement considérable, et ressemblait de tout » point aux nuages ordinaires. A la fin, la couche de vapeur se séparait » de la colonne de fumée qui semblait lui avoir servi de support. Elle chemi- » nait lentement et sans se diviser dans la direction du nord, où elle restait » isolée jusque dans l'après-midi. Dans d'autres circonstances, on remarquait » la formation de 3 à 4 de ces nuages, qui plus tard se réunissaient en un

ainsi plus ou moins les rayons du soleil, elles durent en diminuer l'action calorifique et faire baisser la température. Le climat de tous les lieux situés entres les limites que nous venons d'indiquer, subit un changement. Il devint plus humide et en même temps plus froid qu'il ne l'avait été auparavant, et qu'il ne l'a été dès lors, au moins d'une manière stable et permanente.

Ces vapeurs, en amenant beaucoup d'humidité dans l'atmosphère et en la refroidissant, durent occasionner une longue suite d'années pluvieuses et froides, qui, comme on le sait, favorisent singulièrement le développement des glaciers. Par conséquent, il dut se former de ces masses de glaces partout où le permettait l'élévation des lieux au-dessus de la mer, ou leur situation sous une haute latitude. Ainsi l'élévation des Alpes et leur degré de latitude permirent la formation de glaciers d'une grande étendue. Mais, pour concevoir l'accroissement considérable des

» seul. Quelquefois ils restaient stationnaires, d'autres fois, saisis par le
» courant d'air des hautes régions, ils en étaient entraînés et finissaient
» par s'attacher aux cimes des montagnes, où ils se mêlaient toujours le
» soir avec les brouillards qui s'élevaient du fond des vallées. Ce dernier ac-
» cident était immanquablement suivi d'une pluie. Une longue expérience en
» a tellement convaincu l'habitant d'Antuco, qu'il envisage le volcan comme
» le créateur des nuages, qui, dans le temps des moissons, viennent alors
» bien mal à propos à se résoudre en pluie ». *Voyage au Chili*, etc. pag. 423.

glaciers, on n'a pas besoin de supposer un froid excessif, un climat de Sibérie[1]. Une longue série d'années pareilles aux années pluvieuses et froides qui se succédèrent depuis 1812 jusques en 1817, aurait bien suffi pour former les glaciers diluviens les plus étendus des Alpes. La durée que cet état climatique doit avoir eue pour satisfaire à l'exigence des faits, ne peut pas non plus fournir une objection ; car elle n'est pas si longue qu'elle doive effrayer l'imagination. Bien au contraire, nous avons fait voir que cet espace de temps est bien loin d'atteindre au nombre d'années qu'on a l'habitude d'accorder, lorsqu'il s'agit de rendre raison de quelque phénomène géologique[2]. C'est aussi à ce changement de

[1] Nous avons fait voir plus haut (§. 10) que l'eau à l'état liquide est indispensable aussi bien à la formation des glaciers qu'à leur conservation et à leur accroissement. Par conséquent, un grand froid prolongé n'aurait pu produire des glaciers. Il n'aurait pas été favorable même à la formation des névés, puisque, comme tout le monde le sait, il neige rarement et peu à la fois à une très-basse température, à cause de la sécheresse de l'air.

[2] L'hypothèse des glaciers explique également d'une manière satisfaisante le transport des débris erratiques du nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique. La situation de ces contrées, qui sont beaucoup plus septentrionales que la Suisse, dut singulièrement favoriser la formation des glaciers et contribuer à leur développement. Cette circonstance nous fait concevoir aisément pourquoi les glaciers diluviens du nord prirent un accroissement beaucoup plus considérable que ceux des Alpes. Ne connaissant les phénomènes erratiques de ces pays que par les notices peu détaillées que j'ai rencontrées dispersées dans divers ouvrages, je n'ai pas pu me faire une idée nette de l'é-

climat que l'on doit attribuer en grande partie, à ce qu'il me semble, l'extinction des êtres qui

tendue de ces glaciers. Cependant je pense que les limites du glacier dilavien de la Scandinavie sont dessinées par les accumulations de débris les plus avancées vers le Sud, qui, dans la Prusse orientale, sont connues sous le nom de Steindämme (digues de pierres). En effet ces accumulations présentent la forme de digues, elle se dirigent généralement de l'Est à l'Ouest, et me paraissent être les restes de la moraine frontale que le glacier déposa durant le temps où il était au maximum de son développement. Les débris de roches scandinaviennes qu'on rencontre plus au Sud et jusques à une plus grande distance de ces digues, appartiennent au diluvium déposé par les grands torrents ou rivières qui durent s'échapper de cet énorme glacier même et se répandre sur les plaines de la Prusse et de la Basse-Saxe.

Le phénomène erratique des Pyrénées (§. 75) est également facile à comprendre par l'hypothèse des glaciers. Cette chaîne de montagnes, étant située à environ 4 degrés plus au Sud que les Alpes, et étant en outre moins élevée et moins étendue se trouve par conséquent, dans des circonstances moins favorables à l'accroissement des glaciers. Il n'est donc pas étonnant que son terrain erratique soit moins étendu que celui des Alpes. Enfin l'hypothèse des glaciers rend encore raison de ce fait important, constaté par Mr de Humboldt, que les débris erratiques manquent entièrement dans les plaines situées à l'Est des Andes équatoriales (Relation de Voy. Vol. IX. pag. 88. En effet, il n'est pas étonnant que le climat des contrées qui sont situées entre les tropiques, n'ait pas éprouvé un changement assez considérable pour donner lieu à de vastes glaciers; d'ailleurs la grande sécheresse de l'air sur la haute chaîne des Andes équatoriales et sur les crêtes des rameaux les plus élevés qui s'en détachent, n'est guère propre à la formation de glaciers. J'ignore où, au nord de l'équateur, on rencontre les premiers débris erratiques. Mais du côté du Sud, il paraît, d'après Helms, qu'on en trouve à quelques milles au Sud-Est de Potosi, par conséquent entre le 20me et le 22me degré. (Voy. Fröbel Beschreibung von den Freistaaten Peru und Bolivia, pag. 318). Ces débris seraient-ils venus de la haute Cordilière dont le Nevado de Sorata et l'Illimani font partie, et où l'on trouve, comme nous l'avons déjà fait observer, les premiers véritables glaciers ?

avaient vécu jusqu'alors sur la terre. Beaucoup d'entr'eux ont dû survivre à l'épouvantable catastrophe qui changea la surface du globe sur une étendue immense. Cela a dû être le cas de tous ceux qui se trouvaient à une grande distance des lieux soumis à ces étonnants bouleversements, ou bien de ceux qui vivaient dans des contrées où cette révolution eut peu d'action, et ne produisit que de faibles effets. Mais leur existence, quoique sauvée momentanément, trouva également son terme dans ce changement de climat. Les êtres organisés pour vivre dans un climat chaud et sec ne purent résister à un abaissement de température et à une humidité d'aussi longue durée. Ils finirent donc par s'éteindre. Les éléphants et les rhinocéros qui probablement vivaient alors dans les régions tempérées de l'Asie et de l'Amérique septentrionale, effrayés peut-être, comme le suppose Mr de Humboldt, par le bruit et les tremblements de terre qui durent précéder et accompagner des soulèvements de montagnes dans des contrées plus méridionales, s'enfuirent vers le nord. Arrivés dans ces pays hyperboréens et contraires à leur organisation, ils y périrent peut-être déjà pendant le premier hiver. Ceux qui s'étaient enfoncés dans les marais, y furent bientôt enveloppés par la glace, qui, ne venant plus à se fondre, les a préservés de la dé-

composition, de manière que nous y trouvons encore aujourd'hui, comme on le sait, les cadavres intacts d'un grand nombre d'entr'eux.

A mesure que les crevasses et les fissures occasionnées par les ruptures et les dislocations des couches vinrent à se fermer, et que les communications entre l'extérieur et l'intérieur de la croûte terrestre devinrent plus rares, l'affluence des eaux vers la profondeur se trouva moins abondante, et le dégagement de vapeurs dut aussi nécessairement diminuer. L'état hygrométrique et météorologique de l'atmosphère dut s'en ressentir. La diminution des vapeurs rendit l'air plus sec; par conséquent les pluies et les neiges devinrent plus rares. En même temps, l'air ayant été de plus en plus débarrassé de vapeurs, les rayons solaires durent acquérir plus de force, et exercer une plus grande influence destructive sur les glaciers, non seulement par leur action directe, mais aussi en élevant la température de l'air. Se trouvant de plus en plus privés d'eau, et en même temps exposés à l'action d'une température qui allait en augmentant, les glaciers durent se fondre peu à peu et se réduire à leurs dimensions actuelles.

A mesure que la communication de l'eau avec l'intérieur fut interceptée, la cause du refroidissement de la croûte terrestre alla donc en s'affai-

blissant. Les couches superficielles, se trouvant constamment sous l'influence de la chaleur intérieure, se réchauffèrent, ainsi que l'atmosphère. Mais elles ne purent reprendre le degré de chaleur qu'elles avaient eu avant la grande catastrophe. Une cause facile à concevoir les a empêchées et les empêche encore de revenir à leur ancienne température. Cet obstacle, c'est la déperdition du calorique dans l'espace. En effet, plus l'air devint transparent par la diminution de vapeurs condensées, plus aussi le rayonnement du calorique alla en augmentant, de manière qu'il réduisit enfin l'action de la chaleur terrestre à ne produire d'autre effet que de suppléer à cette déperdition, et de maintenir constante, sur les mêmes lignes isothermes, la température des couches superficielles du globe[1].

[1] Ne pourrait-on pas attribuer également aux eaux qui pénétraient dans les fentes et les crevasses produites par le soulèvement et la dislocation des couches, le refroidissement de climat qui suivit chacune des révolutions par lesquelles la surface du globe a été bouleversée sur une très-grande étendue?

N'est-il pas probable que l'atmosphère a diminué d'humidité même depuis les temps historiques? La grande sécheresse du climat du nord de l'Afrique, de l'Egypte, de la Palestine, de la Syrie, etc. et par conséquent la stérilité de ces pays, peuvent-elles être attribuées uniquement à l'abandon des canaux d'irrigation? Ne sont-elles pas plutôt le résultat d'un abaissememt de l'état hygrométrique de l'air? La diminution d'intensité des orages depuis les temps anciens, estimée probable par Mr Arago (annuaire p^{r} 1838 pag. 396), ne tendrait-elle pas à prouver cet abaissement? Tout le monde sait que depuis les

§. 83.

OBJECTION CONTRE LA CAUSE ASSIGNÉE AU CHANGEMENT DE CLIMAT.

J'ignore les objections que l'on fera à l'explication que je viens de donner de la cause qui, pendant un temps plus ou moins long, dut modifier le climat de manière à le rendre propre à former les glaciers diluviens et à leur faire prendre un si grand développement. Cependant, je crois prévoir qu'on objectera le dégagement même des vapeurs en leur supposant un degré de température très-élevé. On dira peut-être que les crevasses les plus larges durent fournir le plus de vapeurs, parce qu'elles durent atteindre une plus grande profondeur, et recevoir aussi une quantité d'eau plus considérable. Les grandes vallées des Alpes, étant les crevasses les plus larges qui

temps historiques, la force végétative a singulièrement diminué dans nos Alpes. Les arbres, tant résineux que de bois blanc, ne croissent plus à des élévations où jadis existaient de vastes forêts. Les forêts actuelles les plus élevées se trouvent toutes dans un état complet de dépérissement, même celles qu'on soigne particulièrement dans le but de préserver quelque village des avalanches. Le fait est trop général pour qu'on puisse l'attribuer uniquement aux défrichements et à la hache, qui, sans contredit, y ont beaucoup contribué. Mais la cause principale doit résider, à ce qu'il me semble, dans une diminution de l'humidité de l'atmosphère.

se soient formées dans ces montagnes, durent donc produire le plus de vapeurs, et celles-ci, en élevant la température, durent apporter, dans le sein même des Alpes, un obstacle à la formation des glaciers.

Au premier abord, cette objection paraît très-spécieuse; car on ne pourra nier que les grandes *vallées de montagnes* n'aient dû fournir une beaucoup plus grande masse de vapeurs que les fentes plus étroites, et que ces vapeurs n'aient dû être plus ou moins chaudes, et empêcher ainsi la formation des glaciers. Mais si on l'examine de plus près, on reconnaît bientôt qu'elle n'a pas de portée, quoiqu'elle soit fondée sur des faits parfaitement vrais. En effet, on se convaincra aisément que l'eau qui dut se précipiter en plus grande quantité dans ces vastes crevasses, en dut aussi refroidir plus promptement les parois, et par conséquent les vapeurs qui s'en dégageaient. En outre, la quantité plus considérable de débris que cette eau, vu son volume, dut amener avec elle et déposer dans ces vides, y intercepta aussi la communication entre l'extérieur et l'intérieur plus tôt que dans les fentes plus étroites s'ouvrant sur les flancs et les arêtes des montagnes, où les eaux étaient moins abondantes, et, par là-même, amenaient moins de matériaux avec elles.

Ce n'est donc qu'après le refroidissement des va-

peurs que les glaciers purent se former, et, à plus forte raison, qu'ils parvinrent à envahir les grandes vallées et la Basse-Suisse.

Il est très-probable que, dans beaucoup de localités fort éloignées de la Suisse, le dégagement de vapeurs continua encore longtemps après avoir entièrement cessé dans les Alpes. Cela dut même arriver dans toutes les contrées où le peu de pente du sol ne permettait pas aux eaux de prendre un cours rapide et d'acquérir la force de charrier suffisamment de débris pour boucher et remblayer les crevasses.

Ce que nous venons d'exposer doit suffire, ce nous semble, pour faire voir que l'objection tirée du dégagement des vapeurs n'est point fondée.

On pourrait peut-être proposer encore d'autres causes du refroidissement du climat, comme par exemple un changement de l'écliptique, la précession des équinoxes, la progression du système planétaire dans l'espace, les astéroïdes d'Août et de Novembre, etc. Cependant nous ne saurions admettre aucune de ces explications, ni en général aucune explication basée sur des phénomènes astronomiques. En effet, s'il ne s'agissait que de trouver la cause d'un refroidissement, on pourrait avoir recours à ces sortes de phénomènes ; mais ils sont insuffisants pour expliquer la grande humidité qui dut accompagner le refroi-

dissement, et de plus, on ne saurait concevoir pourquoi ces phénomènes seraient précisément arrivés *après* chacun des cataclysmes qui ont donné lieu à des soulèvements de montagnes sur une grande étendue du globe; car en vérité on ne saurait comprendre quel rapport il aurait pu y avoir entre un phénomène purement céleste et un phénomène aussi éminemment tellurien que celui d'un soulèvement de montagnes[1].

[1] Il y a beaucoup de faits qui prouvent, à n'en pouvoir douter, qu'il y a eu dans les temps historiques une période de plusieurs siècles où, du moins en Suisse, la température moyenne a été plus élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui. Ces faits ont été recueillis par Mr Venetz, avec beaucoup de discernement, et exposés dans son *Mémoire sur la température dans les Alpes de la Suisse*. Ils se rapportent tant à la culture et au grand développement de certaines plantes dans des localités où elles ne prospèrent plus de nos jours, qu'à des passages de montagnes jadis très-fréquentés, et maintenant rendus par l'accumulation des glaces sinon impraticables, du moins fort difficiles et dangereux. La durée de ce climat doux a été considérable; car il paraît, d'après les faits rapportés par cet habile observateur, que cette élévation de température s'est fait sentir déjà dans le 10me siècle, et s'est maintenue jusqu'au commencement du dix-septième. Il me paraît impossible d'indiquer la cause probable de ce changement de climat; mais si l'on voulait se laisser aller à des conjectures, ce serait peut-être ici le cas d'avoir recours à quelque cause astronomique, telle que par exemple la progression du système planétaire dans l'espace. Mais l'effet d'une cause de cette nature aurait dû être général, c'est-à-dire, que la température aurait dû augmenter sur chaque point du globe. Cependant cela ne paraît pas avoir eu lieu, puisque, comme tout le monde le sait, l'envahissement de la côte orientale du Grœnland par les glaces date de la fin du 14me siècle, époque où la Suisse jouissait encore de cette douceur de climat.

Il semble que, depuis 1818, un retour de chaleur ait eu lieu dans nos

§. 84.

INFLUENCE DES GLACIERS SUR LES PHÉNOMÈNES DILUVIENS.

Les principaux phénomènes de l'époque diluvienne depuis le dernier soulèvement des Alpes ont été en Suisse : 1) la configuration du sol des vallées et de la plaine entre les Alpes et le Jura ; 2) le dépôt du terrain diluvien, et 3) le dépôt du terrain erratique.

En établissant cet ordre nous ne prétendons pas que la première période de cette époque ait été employée uniquement à accidenter ces contrées, la seconde, à déposer le diluvium, et la troisième, à disperser les débris erratiques. En suivant cet ordre nous voulons seulement indiquer quelle fut successivement l'action prédominante pendant les différentes phases de l'époque diluvienne ; car aucun des trois effets que nous venons de désigner, ne se produisit jamais d'une manière exclusive. Bien plus, tous les trois

contrées, car on remarque généralement que la plupart des glaciers et presque tous les hauts-névés ont diminué depuis 1818. Si cette augmentation de température se maintenait pendant un ou deux siècles, il n'y a pas de doute que les passages des Alpes les plus obstrués par les neiges devinssent de rechef praticables

sont produits encore aujourd'hui, mais sur une échelle infiniment plus petite [1].

Le soulèvement de la chaîne principale des Alpes ouvrit d'immenses crevasses, qui, comblées dans le bas et restées bâillantes dans le haut, constituent la plupart de nos vallées. Ce remblaiement dut commencer au moment même de l'ouverture de ces crevasses. Les fragments et les éclats de tant de roches déchirées, brisées et détachées à l'instant de la rupture, durent en grande partie se précipiter et s'ébouler immédiatement dans ces abîmes. Les plus gros des fragments qui ne furent pas entièrement couverts, ou, pour ainsi dire, ensevelis par des débris d'un moindre volume, forment ces buttes ou monticules plus ou moins isolés qui s'élèvent aujourd'hui dans

[1] L'étude approfondie que Mr Mousson a faite de la constitution géognostique des environs de Baden en Argovie, l'a conduit à admettre dans les phases des phénomènes diluviens le même ordre que nous avons reconnu exister dans la Suisse occidentale. Mr Agassiz renverse cet ordre en admettant que la dispersion des débris erratiques aurait eu lieu dans la première de ces phases au moment où les Alpes auraient percé la nappe de glace qu'il suppose avoir existé avant leur soulèvement, et sur laquelle les blocs auraient glissé jusqu'aux points où il se sont arrêtés. (*Etudes*, etc. pag. 322). Je ne saurais être sur ce point du même avis que Mr Agassiz, parce que, si la dispersion des débris erratiques avait en quelque sorte accompagné le soulèvement des Alpes, ou l'avait suivi de très-près, on devrait trouver ces débris *généralement* recouverts et ensevelis par le diluvium, ce qui cependant n'a pas été observé par Mr Mousson dans la Suisse orientale, ni par moi dans la Suisse occidentale.

les plaines des vallées. Telles sont, par exemple, la butte calcaire de Saint Triphon et Charpigny, les collines de Montorge, de Château-neuf, de Tourbillon et deValeyre près de Sion, quelques-uns des monticules des environs de Sierre, etc.

Des interstices nombreux, de grands vides, des gouffres profonds durent rester ouverts entre ces débris éboulés. Les eaux tant pluviales que provenant de la fonte des glaciers préexistants (§. 74), durent s'y précipiter et parvenir à la profondeur où la chaleur terrestre était suffisante pour les convertir en vapeurs. En même temps elles durent entraîner avec elles des matériaux, qui peu à peu comblèrent ces vides, à l'exception des plus vastes qui, n'ayant été remplis qu'incomplétement, sont aujourd'hui occupés par nos lacs.

Avec le refroidissement des vapeurs (§. 83), commença la formation de nouveaux glaciers. A mesure que la communication avec l'intérieur fut interceptée, les eaux cessèrent de se changer en vapeurs. Elles remplirent ces vides, et après qu'elles s'y furent déchargées des débris qu'elles avaient amenés, le trop plein se déversa sur la plaine entre les Alpes et le Jura. Par conséquent, les matériaux charriés par les torrents ne servirent qu'à égaliser et à niveler la surface de ces vastes remblais, ou, en d'autres termes, à former et à façonner le sol des vallées.

La Basse-Suisse, à l'exception de quelques localités au pied du Jura, est formée par les diverses roches tertiaires, que Mr Studer comprend sous le nom générique de *molasse*, et qu'il a fait si bien connaître dans sa *monographie*. A l'époque dont nous nous occupons maintenant, cette contrée présentait une vaste plaine, dont l'uniformité n'était interrompue que dans le voisinage des Alpes, le long desquelles le terrain tertiaire avait été également soulevé et fortement accidenté par la même révolution qui a donné aux Alpes leur relief actuel. Les torrents qui s'écoulaient des lacs, et ceux qui venaient des Alpes et du Jura par des vallées qui, sans être barrées par des lacs, débouchaient directement dans le bassin de la Basse-Suisse, ces torrents, disons-nous, contribuèrent tous au nivellement de cette plaine; c'est-à-dire, qu'ils entamèrent, sillonnèrent et enlevèrent même les saillies de terrain qui se trouvaient sur leur passage, et qu'ils en déposèrent les déblais dans les bas-fonds où, pouvant s'élargir, ils perdaient de leur force. Le sol soumis à l'action destructive de ces torrents était principalement de la molasse, roche tendre et friable, qui peut-être à cette époque reculée, l'était encore davantage, du moins dans ses couches supérieures; en effet celles-ci, alors récemment formées, n'étaient probablement pas encore aussi

durcies qu'elles le sont aujourd'hui. Il n'est donc pas surprenant que ces eaux aient pu produire des coupures, des dénudations et des déplacements considérables. Et l'on n'a certes pas besoin d'avoir recours à d'énormes débâcles pour se rendre compte de ces effets, surtout si l'on réfléchit à la force croissante de ces torrents qui durent devenir de plus en plus puissants à mesure que les pluies devenaient plus fréquentes, et que les glaciers diluviens augmentaient de volume.

A l'exception de la vallée de la Sarine, les grandes vallées prenant naissance sur le faîte des Alpes et débouchant dans le bassin de la Basse-Suisse sont, comme on sait, toutes barrées par un lac[1]. Par suite de cette circonstance, les débris charriés par les torrents de ces vallées ne purent parvenir dans la plaine de la Basse-Suisse, car ceux qui arrivaient jusqu'aux lacs, y étaient retenus, et formaient des dépôts tendant à raccourcir ou à rétrécir les bassins de ces nappes d'eau. Il résulte de là que les eaux qui envahirent la plaine située entre les Alpes et le Jura, ne purent y amener et y déposer d'autres débris que ceux qui provenaient des roches dont est

[1] La vallée de l'Arve n'est plus barrée aujourd'hui, mais il n'y a aucun doute qu'elle ne l'ait été par le lac Léman à l'époque reculée dont il est ici question.

formé le sol des contrées situées en aval des lacs. En effet, nous trouvons aussi que les couches inférieures (les couches les plus anciennes) du diluvium de la Basse-Suisse, sont principalement composées de galets de roches calcaires et de grès quarzeux appartenant aux chaînes extérieures des Alpes.

Nous voyons par ce qui vient d'être dit, que, durant la première phase de la période diluvienne, le sol des vallées fut en quelque sorte ébauché et rendu susceptible de prendre sa configuration actuelle; que celui de la plaine entre les Alpes et le Jura fut plus ou moins nivelé, et qu'il se forma des dépôts de diluvium composé principalement des débris de roches amenés des contrées situées en aval des grands lacs.

La seconde phase commença par la formation des glaciers, et, par conséquent, par la dispersion des débris erratiques. Cette dispersion n'eut lieu d'abord que dans les vallées les plus élevées; mais à mesure que les glaciers firent des progrès, elle s'étendit aussi sur les vallées des régions basses des Alpes[1].

[1] Il est très-probable que des observations futures constateront également l'ancienne existence de glaciers dans les vallées intérieures du Jura. J'ai rencontré près de Diesse (au-dessus du lac de Bienne), au pied du flanc mé-

Les fragments de roches alpines n'arrivèrent dans la Basse Suisse que lorsque les glaciers eurent franchi les lacs, qui, comme nous l'avons fait voir plus haut (§. 81), ne pouvaient mettre obstacle à leur marche progressive[1]. Les débris de roches dont ces glaciers étaient jonchés, donnèrent lieu à la formation du terrain erratique de ces contrées. Les matériaux qui parvinrent jusque sur les bords des glaciers, formèrent des moraines, des bandes et des dépôts glaciaires; ceux qui restèrent sur les glaciers jusques au moment de leur fonte, produisirent des dépôts éparpillés; ceux enfin qui furent entraînés par les torrents donnèrent lieu à de nouvelles couches de diluvium.

Les torrents qui s'échappaient de ces énormes masses de glace, durent être fort considérables,

ridional du Spitzberg, des accumulations de blocs de calcaire jurassique, qui ont bien l'air d'être des moraines, et mériteraient d'être étudiées.

Mr Renoir a eu la bonté de me communiquer des détails fort intéressants sur les anciennes moraines dont il vient de constater l'existence dans les Vosges, et qui ont été déposées par les glaciers diluviens qui jadis descendirent de ces montagnes. Il est à désirer que ce savant ne tarde pas à faire connaître aux géologues cette découverte importante.

[1] On se ferait une idée bien fausse du mode de transport de ces fragments, si l'on s'imaginait que les glaciers les *poussaient* devant eux; car on comprend aisément que les débris transportés de cette manière ont dû être tous engloutis par les lacs. Il n'y a que les matériaux qui se trouvaient répandus sur le dos des glaciers, qui aient pu traverser ces nappes d'eau.

et, par là même, modifier encore le relief de la Basse-Suisse. Effectivement, en nombre d'endroits, les dépôts diluviens déjà formés durent être entamés, disloqués et même balayés entièrement. Les débris qui provenaient de ces dégradations se mêlant avec ceux qui étaient fournis par les glaciers, occasionnèrent de nouveaux dépôts; et c'est précisément par la présence de ces fragments de roches alpines que ceux-ci se distinguent de ceux qui ont été formés avant que les glaciers eussent franchi les lacs. Ces masses de glace, continuant d'avancer, envahirent de plus en plus la plaine. Dans les localités où leur marche était gênée par les inégalités du terrain, elles creusèrent jusques sur le roc vif, élargissant et approfondissant les vallons déja sillonnés par les torrents. Mais là où elles pouvaient s'étendre sans obstacle, et où, en même temps, la pente et la qualité graveleuse du sol permettaient un prompt écoulement des eaux, les glaces progressèrent sans creuser, et s'étendirent même sur des couches de diluvium sans les bouleverser, ce que ne font pas non plus les glaciers actuels, lorsqu'ils peuvent s'étendre librement sur un sol graveleux (§. 16). Enfin les glaciers diluviens, parvenus à leur maximum de développement, déposèrent sur les flancs des montagnes les moraines les plus haut situées, et dans la Basse-Suisse, les plus éloignées,

ou, en d'autres termes, ils formèrent les moraines qui dessinent les limites du terrain erratique proprement dit.

Les eaux qui s'échappaient de ces glaciers, s'écoulèrent du bassin de la Basse-Suisse en formant deux énormes rivières. L'une se dirigeant au Nord-Est parallèlement au Jura, versait dans le bassin du Rhin, dont elle élargit et approfondit le lit, en le creusant dans le Lœs, sorte de dépôt détritique et arénacé provenant de la dégradation de la molasse, dégradation qui avait déjà commencé dans les premiers temps de la période diluvienne[1]. L'autre rivière, coulant vers le Sud-Ouest, se jetait dans le bassin du Rhône.

[1] Mr Alex. Braun a fait des recherches fort intéressantes sur le Lœs. Il y a trouvé les mollusques terrestres suivants : 1) *Helix arbustorum* (commun); 2) *H. hispida* (commun); 3) *H. montana* Stud. (rare); 4) *H. crystallina;* 5) *H. pulchella;* 6) *H. fulva;* 7) *H. pygmæa;* 8) *Achatina lubrica;* 9) *Pupa dolium* var. *plagiostoma* Alex. Braun; 10) *P. marginata* Drap. (commun); 11) *P. edentula* var. *collumella* Benz.; 12) *P. secale* (rare); 13) *Vertigo pygmaca;* 14) *Clausilia roscida* Stud. 15) *C. parvula* Stud.; 16) *C. gracilis* Pfeiff.; 17) *Succinea amphibia* (rare); et 18) *S. oblonga* (commun). La détermination de ces coquilles, étant faite par un conchyliologiste aussi habile que Mr Braun, mérite la plus entière confiance, et il est superflu d'ajouter que j'ai soigneusement examiné la plupart de ces espèces, que ce savant a eu la complaisance de me communiquer, et qu'aucune ne m'a inspiré le moindre doute sur l'exactitude de cette détermination. A l'exception du *Pupa dolium var. plagiostoma*, toutes ces espèces sont parfaitement identiques avec les espèces vivantes. La différence qui existe entre le *Pupa dolium* du Lœs et l'espèce qui habite les endroits frais du Jura, est fort petite, et n'est pas même

Si l'on considère que la quantité d'eau fournie par les glaciers correspond à leur volume et à

constante, comme l'observe Mr Braun ; elle consiste dans une légère divergence du bord columellaire, qui, dans l'espèce vivante est parfaitement parallèle à l'axe de la coquille. Le *Pupa edentula* var. *columella* ne diffère de la forme ordinaire que par ce qu'il est un peu plus allongé ; Mr Menke le croit identique avec le *P. inornata* Mich., qui habite les alluvions du Rhône près de Lyon. A l'exception de cette dernière espèce, toutes les autres vivent actuellement dans les endroits ombragés et frais des Alpes et du Jura ; il y en a même plusieurs qui aiment l'humidité, comme par exemple *Helix hispida*, *Achatina lubrica*, *Succinea amphibia* et *S. oblonga*. J'ai reconnu parmi les échantillons de *Helix arbustorum* que Mr Braun m'a envoyés, plusieurs individus qui appartiennent évidemment à ma variété *alpicola*, que l'on rencontre dans les Alpes jusqu'à une élévation de 7000 pieds. Mr Braun s'est assuré que des espèces d'ailleurs très-communes, mais aimant les expositions chaudes et sèches, comme *Helix ericetorum*. *H. strigella*, *H. candidula Stud.*, *Pupa quatridens*, *P. variabilis*, *Bulimus radiatus*, etc., ne se trouvent jamais dans le Lœs. L'état de bonne conservation de ces coquilles, dont quelques unes sont très-fragiles, prouve qu'elles n'ont pas été amenées de loin, mais qu'elles ont vécu sur les bords du Rhin lors du dépôt du Lœs.

Ces mollusques sont quelquefois accompagnés de débris de grands mammifères diluviens, qui sont, d'après Mr Braun : *Elephas primigenius*, *Equus caballus fossilis*; *Bos priscus*, *Cervus eurycerus fossilis*, et plusieurs autres espèces de cerfs non encore déterminées. Il n'est guère probable que l'éléphant ait pu prospérer dans un climat aussi frais que celui qui convient aux mollusques dont je viens de donner la liste. Cette circonstance engage à croire que les grands quadrupèdes ensevelis dans le Lœs, n'ont dû se multiplier dans nos contrées que durant le long espace de temps qui s'est écoulé entre le redressement des couches des Alpes occidentales, et le soulèvement de la chaine principale (Voy. Elie de Beaumont. *Révolutions*, etc. pag. 249). La plupart de ces animaux ont dû périr par cette dernière grande catastrophe ; et ceux qui lui ont survécu, ont fini par s'éteindre à mesure que le climat devenait plus froid et plus humide ou plus pluvieux. Le *Cervus eurycerus* est celui de ces mammifères qui a le plus longtemps prolongé son existence, car sa race,

leur élévation absolue (§. 32), on comprendra aisément que ces rivières durent être fort considérables. Nous avons déjà indiqué (§. 80 *g*) les raisons qui font penser que, très-probablement, la fonte des glaciers commença à peu près à la fois sur les divers points de la Basse-Suisse. C'est durant cette fonte que les rivières et les torrents diluviens durent se trouver à leurs plus hautes eaux. Il n'est donc pas étonnant qu'à cette époque ils aient pu charrier fort au loin des blocs de plusieurs pieds cubes de volume, surtout pendant les crues momentanées qu'occasionnaient des orages ou des trombes d'eau. Telle doit être, selon moi, l'origine des gros blocs de roches alpines observés dans les environs de Lyon par Mr Elie de Beaumont, (*Révolutions de la surface*, etc. pag. 243), et parmi lesquels ce savant en a trouvé qui avaient jusques à 3 pieds de diamètre.

Il est également facile de concevoir que la formation de moraines dut être impossible dans les localités atteintes par ces rivières; car à mesure que les débris de roches tombaient du glacier,

d'après les recherches de Mr Hibbert, paraît ne s'être entièrement éteinte que vers l'année 1550. Il n'est donc pas étonnant de rencontrer dans le Lœs les ossements d'animaux organisés pour un climat chaud, mêlés aux coquilles que le refroidissement de l'atmosphère a dû attirer dans la plaine du Rhin, peut-être depuis les Vosges, la Forêt-Noire et le Jura.

ils étaient entraînés et transportés à des distances plus ou moins grandes selon le volume des fragments et selon la force des courants. C'est par cette cause que, entre Herzogenbuchsée et Soleure, et entre Gex et Genève, le terrain erratique, au lieu de se terminer par des moraines, y passe à l'état de diluvium. En effet, ces contrées étant les deux points les plus bas que le glacier diluvien du Rhône ait atteints, elles durent être presque entièrement envahies par les deux principales rivières qui, l'une vers le Nord-Est, et l'autre vers le Sud-Ouest, s'échappaient de cette énorme masse de glace.

C'est par la fusion de ces glaces que commença la troisième et dernière phase de la période diluvienne. Jusques alors les débris erratiques n'avaient été déposés que le long des bords des glaciers; mais dès que cette fonte fut arrivée, et à mesure qu'elle fit des progrès, ces débris furent aussi répandus sur le terrain même qui avait été couvert par les glaciers. En effet, lorsque ceux-ci vinrent à se fondre, les fragments de roche, dispersés à la surface de la glace, tombèrent et s'éparpillèrent sur le sol qu'elle venait d'abandonner.

Dans les localités où ces débris se trouvaient à l'abri des courants, ils n'éprouvèrent aucun changement, aucun déplacement. Ils restèrent

tels qu'ils étaient à l'instant où ils venaient de tomber du glacier. Mais là où les torrents pouvaient avoir accès, ils emportèrent les menus débris, ne laissant sur place que les gros blocs. Lorsque plus tard ces torrents eurent diminué de force, et que, au lieu de creuser et d'entraîner, ils amenèrent et déposèrent des matériaux dans ces mêmes localités, les blocs qui s'y trouvaient, purent être entièrement recouverts de gravier, de sable et de limon. Cela nous explique très-bien le gisement des gros blocs erratiques, même à arêtes et à angles vifs, entièrement ensevelis dans des couches de diluvium.

Nous avons fait voir plus haut (§. 80 *n.*) que le glacier diluvien du Rhône a atteint dans les Alpes une hauteur de 2800 pieds, et au Jura 3100 pieds au-dessus de la plaine[1]. Il n'est donc

[1] En disant que l'énorme épaisseur de ces glaciers explique la position élevée des dépôts diluviens dans les Alpes, je ne prétends nullement qu'il y ait eu des glaciers dans toutes les localités où l'on rencontre des dépôts diluviens à une grande élévation au-dessus du lit des rivières ou torrents voisins. Ainsi, par exemple, on trouve près de Lyon de vastes dépôts diluviens à plusieurs centaines de pieds au-dessus du lit du Rhône (Voy. Mr Elie de Beaumont, *Recherches*, etc., pag. 239 et suiv.), et il paraît en être de même dans les environs d'Avignon et d'autres endroits situés dans le voisinage de ce fleuve. Certainement ces contrées n'ont jamais été envahies par des glaciers. Mais je ne saurais non plus m'imaginer que ces dépôts aient été formés par un courant de plusieurs cents pieds de profondeur. En effet, tout le monde sait que les eaux courantes gagnent en vitesse à mesure qu'elles grossissent,

pas surprenant de rencontrer des dépôts diluviens à de grandes hauteurs; car on doit trouver des

et que leur profondeur va en augmentant, quoique la pente de leur lit n'éprouve aucun changement. Le Danube est très-rapide malgré sa faible pente; ce n'est donc que le grand volume de l'eau qui lui imprime cette vitesse. Par conséquent, un courant de quelques centaines de pieds de profondeur aurait eu une vitesse qui devrait exclure toute idée de dépôts de menus débris, car on ne saurait se persuader qu'un courant aussi impétueux eût pu former alternativement des couches, quelquefois minces et régulières, de galets, de gravier, de sable et de limon. Il n'en aurait pas même formé le long de ses bords. En effet, la débâcle de Bagnes nous a fait voir qu'un courant profond et par conséquent rapide ne dépose pas même le long de ses bords; il ne fait que creuser et emporter jusqu'à ce qu'il puisse s'élargir et, par conséquent diminuer de profondeur et avec elle de vitesse. Pour me rendre compte de la position élevée des dépôts de diluvium au-dessus du lit actuel du Bas-Rhône, je pense qu'il ont été formés à l'époque des glaciers diluviens, durant laquelle ce fleuve dut être infiniment plus considérable qu'aujourd'hui, sans avoir cependant une profondeur de quelques cents pieds. Il dut en même temps charrier une quantité prodigieuse de matériaux et en déposer partout où il pouvait s'élargir, c'est-à-dire partout où, en diminuant de profondeur, il perdit en vitesse et en force. De cette manière il exhaussa peu à peu son lit jusqu'à la hauteur où nous trouvons encore aujourd'hui les dépôts détritiques les plus élevés. A mesure que les glaciers vinrent à diminuer de volume, celui du Rhône alla également en diminuant, ainsi que la quantité de matériaux qu'il charriait. Lorsqu'enfin le glacier du Valais et celui de l'Arve eurent abandonné le bassin entre les Alpes et le Jura, et qu'ils se furent retirés en arrière du lac Léman, le Rhône se trouva privé de sa source principale de débris, parce que, comme il sera dit plus loin, les matériaux transportés par ces glaciers et par les torrents qui s'en échappaient, restèrent tous dans le bassin du lac. C'est alors que le fleuve se mit à dégrader son propre ouvrage en entamant et en creusant les dépôts qu'il avait formés dans les larges vallées et dans les plaines qu'il avait parcourues en divaguant comme le font toutes les rivières et tous les torrents qui charrient et qui sont abandonnés à eux-mêmes. De cette manière il est parvenu à approfondir son lit dans ses propres dépôts

galets, du gravier, du sable et du limon dans toutes les localités où les accidents de terrain permirent aux eaux de glaciers de se réunir, de former des torrents, et de déposer les matériaux qu'elles charriaient. Dès que le retour d'un climat plus doux eut fait disparaître les glaces dans le bassin entre les Alpes et le Jura, c'est-à-dire, dès que les glaciers ne dépassérent plus les lacs, leur influence sur la configuration du sol de la Basse-Suisse se trouva singulièrement réduite. En effet, à la disparition des glaciers dans cette contrée, la formation du terrain erratique y cessa entièrement. Les torrents produits par la fonte des glaces ne purent plus y amener de matériaux pour former du diluvium, parce que les débris qu'ils charriaient, s'arrêtaient tous dans les lacs, qu'ils comblaient par leur côté d'amont, soit leur extrémité supérieure[1]. Enfin, même l'action destructive de ces torrents dut être considérablement diminuée;

et à se former un cours que maintenant la main de l'homme tend sans cesse à lui conserver.

Il va sans dire qu'il n'a été question ici que de dépôts diluviens fluviaux, auxquels appartient celui dont nous venons de parler, et qui, sous beaucoup de rapports, diffèrent des dépôts lacustres, formés dans des lacs aujourd'hui écoulés.

[1] Quiconque visitera avec quelque attention les plaines, pour la plupart marécageuses, qui précèdent tous nos grands lacs, se convaincra facilement qu'elles sont produites par le remblai de l'extrémité supérieure de ces nappes d'eau. Ainsi le lac Léman a été comblé sur une longueur de $4\frac{1}{2}$ lieues; car,

car à mesure que le volume des glaciers était réduit, celui des eaux qui en provenaient, dut l'être en proportion. Effectivement, ces torrents n'eurent d'autre influence sur la configuration du sol de la Basse-Suisse, que de creuser des sillons plus ou moins larges et profonds dans le diluvium qui avait été successivement déposé et exhaussé à une épaisseur fort considérable. Ces sillons sont ces nombreux vallons et ravins dont le sol de la Basse-Suisse se trouve accidenté et qui, pour la plupart, servant encore aujourd'hui de lit à des torrents, continuent de s'élargir et de s'approfondir partout où les travaux des hommes ne s'y opposent pas. Nous avons fait voir plus haut

est évident qu'il s'étendait jadis jusqu'à très-peu de distance en aval du défilé de Saint Maurice, et qu'il occupait toute la largeur de la vallée, évaluée en moyenne à une lieue et demie. Celui de Brienz s'est prolongé jusqu'à une demi-lieue au-delà de Meiringen; celui des Quatre Cantons presque jusques à Amsteg; celui de Wallenstadt jusques à la rencontre de la vallée du Rhin, et l'on ne saurait douter que le diluvium qui l'a comblé, ne soit venu pour la plus grande partie de cette vallée. Enfin le lac de Constance présente le même fait; mais n'ayant pas été plus loin que Rheinek, j'ignore quelle peut avoir été plus anciennement son étendue.

On ne peut pas non plus douter que les lacs de Brienz et de Thoun n'aient formé jadis un seul et même bassin d'eau, qui, par le diluvium sorti de la vallée de la Lütschine (réunion des torrents de Grindelwald et de Lauterbrunnen), a été comblé dans son milieu, et partagé en deux. Il en a été exactement de même pour les lacs de Zurich et de Wallenstadt qui, dans l'ancien temps, ne présentaient non plus qu'une seule nappe d'eau, partagée plus tard en deux par le diluvium sorti de la vallée de la Linth.

(§. 80 *h*) que, dans les vallées et sur les montagnes des Alpes, la fonte des glaces ne se fit pas d'un seul trait, comme dans le bassin de la Basse-Suisse, mais qu'elle y éprouva de fréquentes interruptions ou des oscillations. C'est à ces oscillations dans la marche, pour ainsi dire, rétrograde des glaciers, qu'il faut attribuer les moraines qu'on rencontre à divers étages sur les flancs des montagnes des deux côtés des vallées.

Enfin, à mesure que les vapeurs disparurent, que l'atmosphère s'éclaircit, que l'action des rayons solaires gagna en intensité, que l'air et le sol se réchauffèrent, et que les pluies devinrent moins fréquentes, les glaciers fondirent de plus en plus, et finirent pour ainsi dire par se retirer peu à peu dans les limites qu'ils ont aujourd'hui.

Nous venons de faire voir que les glaciers diluviens ont eu la plus grande influence sur la configuration du sol des vallées des Alpes, de la Basse-Suisse et en général des bassins hydrographiques qui en dépendent, et que, sans ces glaciers, la plupart des phénomènes de cette époque seraient inexplicables. Cette influence n'a pas entièrement cessé. Elle continue encore aujourd'hui, mais sur une échelle infiniment petite en comparaison de ce qu'elle a été. En effet, les glaciers transportent et déposent encore des débris, et, en formant des moraines, des bandes et

des lits de glaciers (dépôts éparpillés), ils produisent autour d'eux du terrain erratique. Les torrents qui s'en échappent, formant les sources principales de toutes nos grandes rivières, emportent de ces débris et les déposent plus loin ; ils transportent du limon, des sables et des graviers dans les lacs, qu'il tendent ainsi constamment à combler et à raccourcir par leur côté d'amont ; enfin ces torrents, éprouvant des crues et des baisses, continuent tantôt à creuser, tantôt à déposer et à changer plus ou moins la surface du sol des vallées et de la plaine. Ainsi l'époque actuelle (l'époque alluvienne) n'est que la continuation de l'époque diluvienne, mais réduite à sa moindre expression.

§. 85.

CONCLUSIONS.

Il résulte des faits que nous avons exposés dans ce petit travail :

1) que le mode de formation, de conservation, de développement et de mouvement des glaciers actuels, ainsi que l'influence qu'ils exercent sur la configuration du sol, ne présente rien de contraire à la supposition des glaciers diluviens.

2) que l'état climatique et météorique qui a donné lieu à la formation de ces derniers, a été le résultat, la suite, la conséquence directe et inévitable du dernier grand cataclysme qui a accidenté la surface de l'hémisphère boréal depuis le 22me degré jusques aux hautes latitudes du nord, et donné aux Alpes leur relief actuel;

3) que l'hypothèse des glaciers diluviens est la seule qui explique d'une manière satisfaisante, jusques dans leurs moindres détails, tous les phénomènes du terrain erratique;

4) que l'existence de ces glaciers et les effets qu'ils ont produits, ne peuvent plus être mis dans la catégorie des hypothèses; mais qu'il constituent un fait prouvé et positif, et aussi incontestable que le redressement des couches opéré par les soulèvements; enfin,

5) que la définition que nous avons donnée (§. 38) du terrain erratique, doit être remplacée par celle-ci : *Le terrain erratique est un terrain détritique déposé par des glaciers* [1].

[1] Le terrain diluvien proprement dit est également un terrain détritique, mais produit par des eaux qui, du moins en Suisse, ont eu leur principale source dans la fonte de ces mêmes glaciers.

§. 86.

CRAINTES ET ESPÉRANCES.

Je ne saurais terminer cet Essai sans faire l'aveu franc et sincère et des craintes et des espérances que je conçois relativement à l'accueil que lui fera le public.

Quoiqu'on ne puisse pas nier les faits que nous avons rapportés, ni rejeter les conclusions que nous en avons tirées, néanmoins nous prévoyons dès à présent que les glaciers diluviens rencontreront une opposition sinon redoutable, du moins nombreuse. En effet, bien des personnes auront de la peine à se familiariser avec ces résultats, à les goûter et à les adopter. Elles éprouveront une sorte de répugnance à donner leur assentiment aux opinions que nous venons de développer, non pas parce qu'elles les auront trouvées entachées d'erreurs graves, ni parce qu'elles auront été frappées d'inexactitudes dans l'exposition des faits, ou choquées par de faux raisonnements et par des suppositions hasardées; mais par la raison que l'explication donnée de ce phénomène géologique leur aura paru être tout à fait insolite et sortir entièrement de l'ordre des agents naturels qu'elles ont journellement sous les yeux.

En effet, le nombre des personnes qui ont vu des eaux courantes, qui ont été témoins de leurs effets, qui ont vu du diluvium et de l'alluvium, leur nombre, disons-nous, est sans contredit beaucoup plus considérable que celui des personnes qui ont vu des glaciers et des moraines, et surtout, que le nombre des observateurs qui y ont apporté une attention particulière, et qui en ont fait l'objet d'une étude suivie et raisonnée, étude sans laquelle, nous le répétons, les glaciers actuels, et, à plus forte raison, les glaciers diluviens ne peuvent pas être compris. Comme l'on voit des alluvions se former à toutes les crues de torrents et de rivières, il n'est pas étonnant qu'on se laisse entraîner à attribuer aux eaux, sans restriction, tous les phénomènes de l'époque diluvienne, et, par conséquent, aussi celui de la dispersion des débris erratiques. Cette manière de se rendre compte des faits est si commode que, par là-même, elle paraît toute naturelle. L'imagination la moins ardente peut sans effort se créer des courants mille et mille fois plus considérables que les rivières qu'on a sous ses yeux. La supposition est d'autant plus aisée qu'on n'a pas l'habitude, lorsqu'il s'agit des phénomènes diluviens, de s'inquiéter, ni de la possibilité de pareils courants dans la contrée pour laquelle on les ré-

clame, ni de leur cause, ni de leur volume, ni de leur vîtesse, ni de leur force, ni de leur direction, et encore moins de leur effet. On a généralement une si grande confiance dans la toute-puissance des courants et des débâcles, qu'on ne se donne guère la peine d'y réfléchir, d'examiner de près si, tels qu'on les imagine, ils ont pu réellement produire les faits qu'on voudrait expliquer.

Ainsi, par exemple, pour se rendre compte du transport des débris erratiques, on commence par supposer de formidables courants, ou des débâcles de 2000 à 3000 pieds de profondeur, sans s'inquiéter d'où ces masses d'eau ont pu provenir. Puis, pour faire franchir à des blocs de plus de 60,000 pieds cubes les bassins de nos lacs, on doue ces courants d'une vîtesse de plusieurs centaines de pieds par seconde, sans avoir égard à leur profondeur ni à la pente du terrain. Ensuite, pour faire déposer de ces énormes blocs à plus de 2000 ou 3000 pieds au-dessus de la plaine, on attribue à ces débâcles une consistance suffisamment boueuse et épaisse pour que ces blocs aient pu se maintenir à la surface du courant. De plus, pour expliquer les gros blocs isolés ou éparpillés, on a recours à une seconde débâcle non moins formidable que la première, mais ne devant être

que de l'eau à peu près claire, parce qu'elle ne doit pas former de dépôts; car elle n'a d'autre destination que celle de débarrasser les gros blocs des menus débris dans lesquels on suppose qu'ils ont été ensevelis. Enfin, c'est à ces mêmes courants, auxquels on prête un volume si énorme et une vîtesse si extraordinaire, qu'on attribue aussi et sans hésiter le dépôt du terrain diluvien quoiqu'il soit formé de couches alternatives de galets, de gravier, de sable et de limon, couches qui cependant sont souvent si régulières et si minces, qu'elles devraient exclure toute idée de débâcle ou de courant impétueux. Eh bien, malgré ces invraisemblances, malgré ces contradictions même, beaucoup de personnes préfèrent encore croire à ces débâcles, dont l'impossibilité saute aux yeux, plutôt que d'admettre les glaciers diluviens, auxquels cependant on n'a d'autre objection à faire que leur existence insolite, si je puis me servir de cette expression.

En effet, qu'y a-t-il de plus extraordinaire, de plus insolite qu'un glacier de plus de 60 lieues de longueur, de plus de 200 lieues carrées de surface, et de 2000 à 3000 pieds d'épaisseur, comme doit avoir été le glacier diluvien du Rhône? Quoique je n'aie jamais pu croire au transport des débris erratiques par le moyen de l'eau, néan-

moins l'énormité du volume des glaciers diluviens a été aussi pour moi pendant longtemps la cause principale qui m'empêchait d'admettre leur ancienne existence. Et telle est la puissance de l'habitude qu'à l'heure qu'il est, lorsque je me trouve sur quelque éminence du plateau du Jorat ou sur quelque point élevé du Jura, d'où la vue embrasse une grande étendue de la plaine située entre cette chaîne de montagnes et les Alpes, j'éprouve encore involontairement une sorte de répugnance, une certaine difficulté à me faire à l'idée de ces énormes glaciers.

Il me semble impossible que cette vaste contrée, si belle, si riche, si variée, si animée, ait été autrefois ensevelie sous des glaces, et que son sol, aujourd'hui si productif, n'ait été jadis qu'un lit de glacier, congelé et stérile.

Il ne faut donc pas s'étonner s'il arrive que bien des gens aient de la peine à se persuader de l'existence de ces glaciers, et surtout de leur développement excessif, quoiqu'ils n'aient pas de faits vrais et bien constatés à y opposer. Cette répugnance doit encore moins surprendre, lorsque l'on considère combien il règne encore dans le public d'idées fausses sur la formation, la conservation et le mouvement des glaciers. En effet, quand on se base sur ces idées erronées, il est impossible de parvenir à l'explication des glaciers

diluviens, puisqu'elles ne permettent pas même d'expliquer les glaciers actuels [1].

Si nous craignons que le système que nous avons défendu, ne rencontre beaucoup d'adversaires, nous espérons aussi qu'il obtiendra un accueil bienveillant des savants qui auront pris la peine de lire attentivement et sans prévention notre travail, de réfléchir sur les faits qui y sont consignés, et de méditer sur les conséquences que nous en avons déduites. C'est de ces savants-là que nous osons attendre les premiers suffrages. Puis, nous confiant dans l'intérêt même du sujet

[1] Depuis les travaux de Mr de Saussure, la connaissance des glaciers a fait bien peu de progrès. Il semblait que ce sujet eût été traité à fond, et qu'il ne restât rien à y ajouter, rien à y modifier, rien à y corriger. Un grand nombre de géologues, peut-être la plupart, et en général beaucoup de physiciens et de personnes s'occupant de sciences, ont visité et visitent encore les glaciers. Mais il en est bien peu parmi eux qui en aient fait un sujet d'étude. La raison en est toute simple : elle réside d'une part dans l'éloignement des lieux occupés par les glaciers, et de l'autre, dans le nombre et la variété des objets intéressants qu'on rencontre dans ces mêmes localités. Pour être à même de bien observer, de suivre et d'approfondir les divers phénomènes des glaciers, il est nécessaire d'habiter dans leur voisinage, afin de pouvoir les visiter fréquemment, donner assez de temps à chaque visite, et n'être pas trop distrait par l'étonnant spectacle que présentent les régions élevées des Alpes. En effet, l'étranger instruit et observateur, arrivant dans les hautes montagnes, rencontre presque à chaque pas quelque objet qui le frappe, qui l'intéresse, et qui distrait son attention, tandis que celui qui habite les Alpes mêmes, étant plus familiarisé avec leurs scènes sublimes et leurs productions remarquables, est mieux en état de guider son attention, de la diriger et de la concentrer sur un objet spécial.

que nous avons traité, nous espérons également que notre travail engagera beaucoup de naturalistes à se livrer à une étude approfondie et suivie des glaciers et du terrain erratique, non seulement dans les Alpes, mais aussi dans d'autres contrées du globe. Nous sommes persuadé que leurs recherches confirmeront nos observations, et que les faits qu'ils remarqueront ailleurs, les conduiront aux mêmes résultats auxquels nous sommes parvenu par l'étude des glaciers et du terrain erratique du bassin du Rhône. Ils finiront par se convaincre de l'ancienne existence des glaciers diluviens, et par reconnaître que la cause du transport des débris erratiques n'est plus un sujet de doute, d'incertitude, et, pour ainsi dire, de controverse.

Enfin, nous espérons avoir démontré que le système qui établit l'existence des glaciers diluviens, et qui en expose l'origine, la marche, l'étendue et l'effet, n'est point une hypothèse chimérique et absurde, mais qu'il mérite au contraire d'être étudié et discuté par les géologues et les physiciens.

TABLE DES PARAGRAPHES.

Première Partie.

DES GLACIERS.

—◆◆◆—

Seconde Partie.

DU TERRAIN ERRATIQUE.

—✻—

ERRATA.

Page III, ligne 5, *lisez* se *au lieu de* ses.
» III, » 6, *lisez* suis *au lieu de* sui.
» 18, » 32, *lisez* et qui, à cause *au lieu de* et qui à cause.
» 41, » 12, *lisez* mesures *au lieu de* messures.
» 41, la note N^ro 1 se rapporte à la page 40.
» 60, ligne 11, *lisez* portion *ef au lieu de* portion *e*.
» 69, » 14, *lisez* moment *au lieu de* mouvement.
» 97, » 20, *lisez* glarier *au lieu de* glacier.
» 100, » 22, *lisez* existe des *au lieu de* existedes.
» 106, la lettre *g* de la fig. XXI est mal placée. Elle doit se trouver sur le glacier et non sur la montagne sur laquelle il repose.
» 111, ligne 8, *lisez* sol *au lieu de* terrain.
» 142, » 19, *lisez* Le Bloc-monstre *au lieu de* La Bloc-Monstre.
» 147, » 4, *lisez* n'est appuyé que par *au lieu de* n'est appuyé par.
» 160, » 7, *lisez* peu-à-peu à descendre *au lieu de* peu-à-peu descendre.
» 160, » 23, *lisez* Thurmann *au lieu de* Tourmann.
» 171, » 6, *lisez* les dépôts *au lieu de* des dépôts.
» 246, dans la note, ligne 3, *lisez* another *au lieu de* an other.
» » » » 3, *lisez* Swytzerland *au lieu de* Schwytzerland.
» » » » 5, *lisez* chain *au lieu de* chaine.
» » » » 5, *lisez* ice, and *au lieu de* ice-and.
» » » » 11, *lisez* which *au lieu de* wich.
» » » » 12, *lisez* free *au lieu de* frée.
» » » » 12, *lisez* now see *au lieu de* non sec.
» » » » 13, *lisez* destroying *au lieu de* destroging.
» » » » 15, *lisez* sufficient *au lieu de* sufficent.
» » » » 15, *lisez* origin *au lieu de* origine.
» » » » 15, *lisez* extensive *au lieu de* extensius.
» » » » 16, *lisez* any *au lieu de* an y.
» » » » 17, *après* declivity *effacez le tiret.*
» 262, ligne 8, *lisez* 300 *au lieu de* 500.
» 268, » 12, *lisez* ou monticules *au lieu de* de monticules.

REMARQUES

RELATIVES A LA CARTE ET AUX LITHOGRAPHIES.

La carte indique la limite du terrain erratique de la vallée du Rhône. Par conséquent, la contrée correspondant à la portion coloriée de la carte a été occupée par le glacier diluvien à l'époque de son plus grand développement. La limite de ce terrain depuis Plasselb, au sud de Fribourg, jusqu'à Winigen, à l'est de Burgdorf, m'a été indiquée par Mr le professeur Studer. Pour tracer cette même ligne depuis Nods, au nord du lac de Bienne, jusqu'à Rochefort, à l'ouest de Neuchâtel, je me suis basé sur les observations de Mr de Buch (*Mémoire sur la dispersion des blocs de roches des Alpes*). La ligne de limite entre Herzogenbuchsée et Soleure, et entre Gex et le Léman, n'est point tirée au trait, mais elle est seulement pointée, parce que dans ces localités, par des causes que nous avons fait connaître plus haut (§. 80 *o*), le terrain erratique se confondant complètement avec le *diluvium* ne se termine pas d'une manière nettement tranchée. Il en est de même de la limite de ce terrain dans toutes les vallées latérales du Valais, parce que les débris erratiques se mêlent et se confondent avec les débris transportés par les glaciers actuels (§. 54).

Mr Alex. Dür, membre du Grand Conseil du Canton de Vaud, s'est chargé, avec une rare obligeance, du dessin

de la carte. Il s'est basé généralement sur la carte de Keller ; mais, quant aux vallées de St. Nicolas et de Saas, il s'en est rapporté à la carte d'Engelhardt, et à celle de Fröbel pour tout ce qui est relatif à la partie supérieure des vallées d'Hérens, d'Anniviers et de Tourtemagne. Les vallées de Binnen, de Bagnes, d'Entremont, de Ferret, du Trient et d'Illier, ont été dessinées d'après des croquis topographiques que j'ai faits de ces intéressantes contrées, il y a une vingtaine d'années. Je dois encore faire observer qu'il aurait été fort inutile de rapporter sur cette carte d'autres noms que ceux des localités mentionnées dans mon livre.

Les blocs erratiques N° 1, 2, 3, 4 et 5 ont été dessinés d'après nature par M[r] Steinlen, Professeur de dessin à Vevey, si avantageusement connu par ses charmantes aquarelles des vues des environs de Lausanne, de Vevey, de Montreux, de Bex, etc. Les N° 6 et 7 ont été dessinés par M[r] Ritz, auteur d'une collection fort intéressante de vues lithographiées des sites les plus remarquables du Valais.

N° 1. *Pierre des Marmettes.* Ce beau bloc, décrit pag. 126, se trouve à 15 minutes du bourg de Monthey. Le petit pavillon dont il est maintenant surmonté, n'est pas indiqué dans le dessin, qui est antérieur à cette construction.

N° 2. *Pierre à Dzo.* Ce bloc, remarquable par sa position, a été décrit pag. 141. Il est à peu de distance au nord-est de celui des Marmettes.

N° 3. *Pierre du Four.* Cet énorme bloc a tiré son nom du vuide qu'on observe sous lui et qui est assez spacieux

pour servir d'abri à plusieurs personnes. Il se trouve à droite à une vingtaine de pas au-dessous du chemin.

N° 4. *La Pierre des Mourguets*, C'est sans contredit le groupe de blocs le plus intéressant des environs de Monthey. On reconnaît évidemment que le bloc à gauche était déjà sur place, lorsque celui de droite est tombé dessus, et s'est fendu horizontalement dans toute sa longueur. Cet accident remarquable a été décrit pag. 104. Ce bloc se trouve au nord de celui du Four au bord du chemin à droite.

N° 5. *La Pierre à Milan*. C'est par erreur que cet énorme fragment de granite a été indiqué sous ce nom ; car le bloc qui est ainsi nommé, est un autre bloc, situé à peu de distance au nord de celui-ci. Le bloc représenté par ce dessin, n'est pas désigné par un nom particulier, mais il est néanmoins fort intéressant, parce qu'on peut très-bien y voir les débris sur lesquels il repose, et qui par leur forme anguleuse écartent toute explication de leur transport par le moyen de courants.

N° 6 et 7. *La Pierre de la Poudrière de Sion*, vue du côté du sud et du côté de l'est, a été décrite pag. 145. Le dessin N° 7, pourrait induire en erreur sur la manière dont ce bloc calcaire est soutenu du côté gauche. En effet, l'ombre qu'il jette de ce côté, produit dans le dessin l'effet comme si le bloc y était supporté par un autre, tandis qu'il l'est par une saillie de la roche en place.

N° 8. *Glacier du Rhône*. Ce glacier est l'un des plus beaux des Alpes. La montagne blanche à gauche est le Gallenstock, et près de la dépression à droite se trouve le passage de la Fourche. Le dessin a été fait d'après

nature par Mr Lardy en 1817, par conséquent dans une année où les glaciers présentèrent un développement considérable. Ce glacier, étant situé à l'extrémité supérieure de la vallée du Rhône, est en quelque sorte tout ce qui reste encore du grand glacier diluvien du Valais proprement dit.

9 Le groupe de blocs que l'on voit sur la couverture du livre, fait partie de la bande de débris erratiques de Monthey.

LIBRARY
Leland Stanford, Jr.
UNIVERSITY





N.º 5 PIERRE A MILAN.

LIBRARY
Leland Stanford, Jr.
UNIVERSITY



N°. 6. PIERRE de la POUDRIÈRE de SION du côté de l'Est.


UNIVERSITY



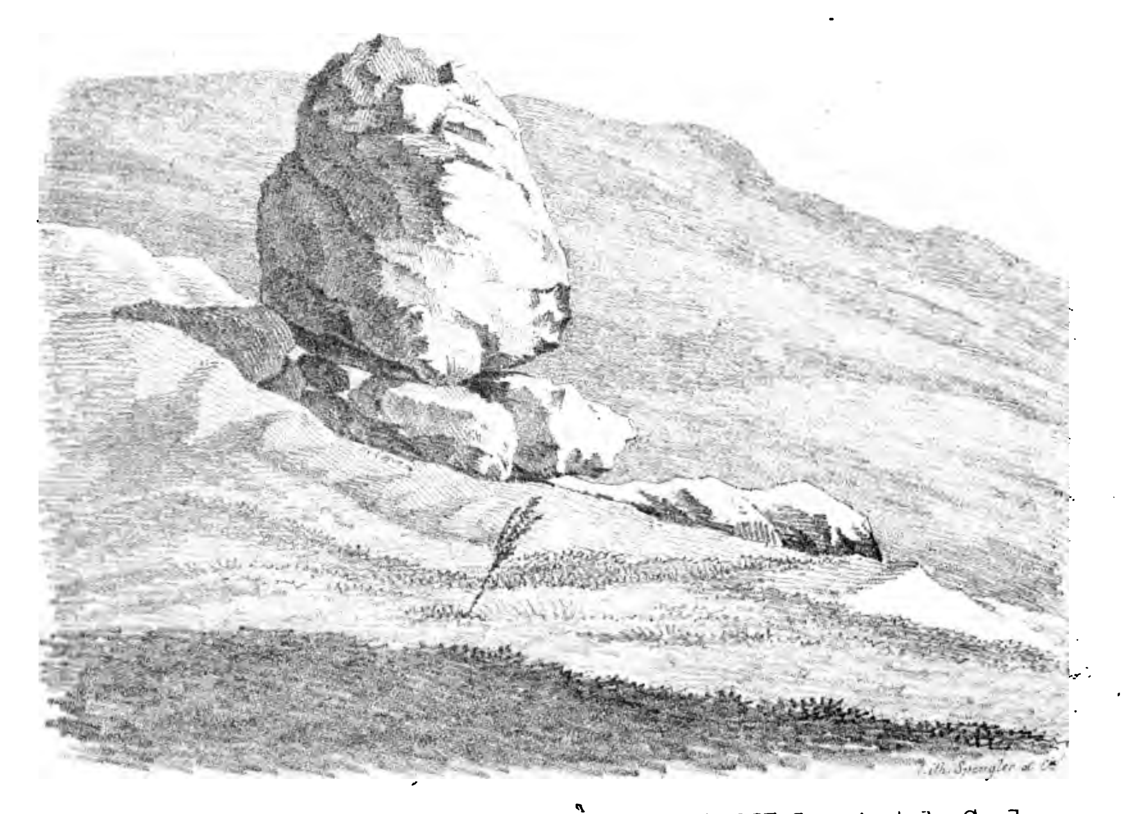
N.º 7. PIERRE de la POUDRIÈRE de SION du côté du Sud.

R Y
anford, Jr.
VERSITY


Lith. Spengler et Comp.ie

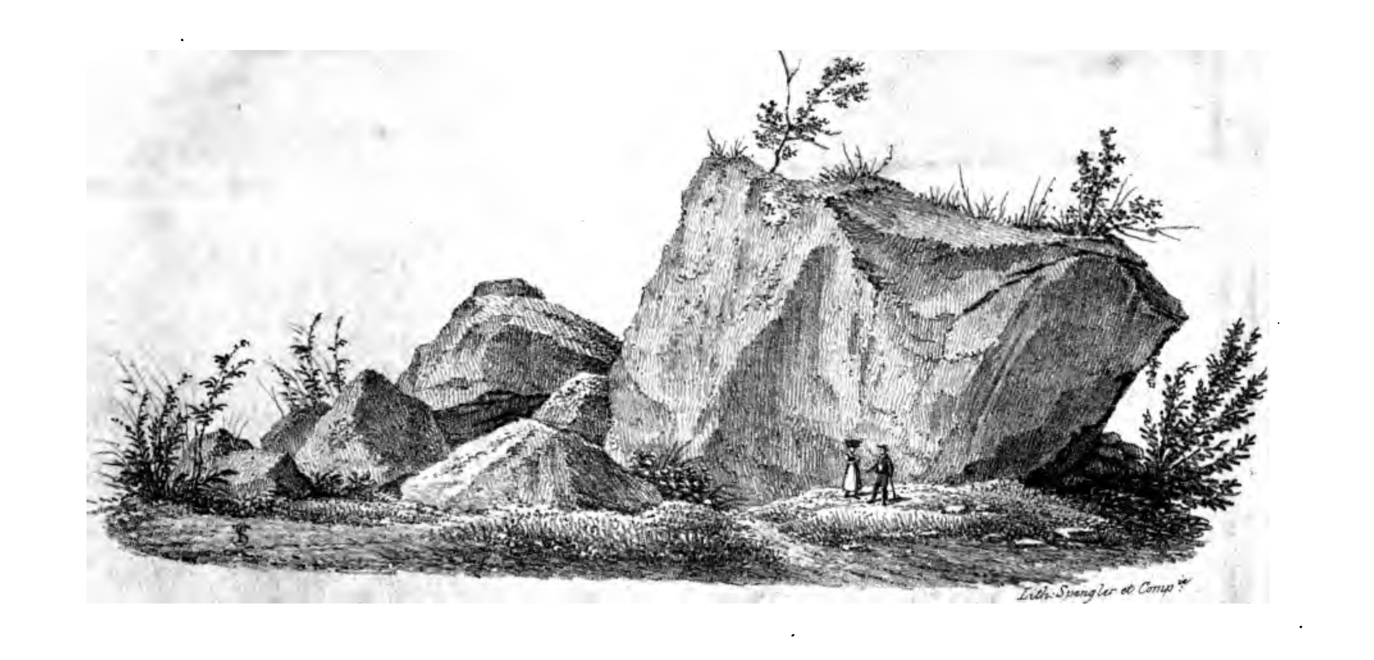


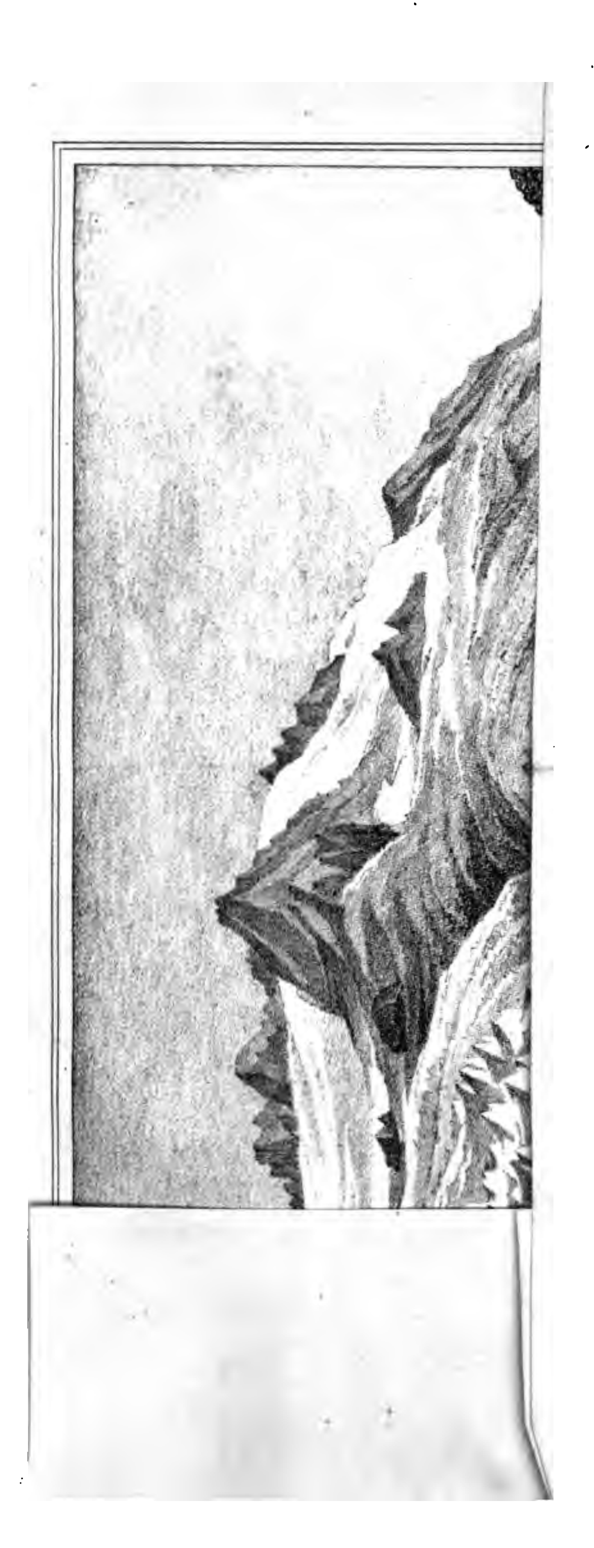

Jr.
UNIVERSITY

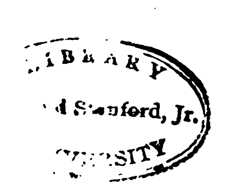


N°. 7. PIERRE de la POUDRIÈRE de SION du côté du Sud.

R Y
auford, Jr.
VERSITY


Lith: Spengler et Compie




IBRARY
Stanford, Jr.
SITY




551.31 .C484 C.1
Essai sur les glaciers et sur
Stanford University Libraries
3 6105 032 219 771

